

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ONTOLOGIES, WEB SÉMANTIQUE ET ELEARNING : VERS LA
COMPOSITION AUTOMATIQUE DES OBJETS D'APPRENTISSAGE FONDÉE
SUR LES ONTOLOGIES ET LES THÉORIES PÉDAGOGIQUES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN INFORMATIQUE

PAR
ISMAEL DOUKOURE

OCTOBRE 2014

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens sincèrement à remercier Monsieur Nkambou Roger (mon directeur de mémoire) pour m'avoir proposé un sujet de Maîtrise aussi intéressant, pour son encadrement, ses aides, ses conseils et surtout pour sa grande patience, oui ça a pris du temps, mais nous y sommes enfin arrivés.

Je tiens également à remercier tous mes professeurs du département d'Informatique de l'Université du Québec à Montréal qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie mes parents pour leur soutien, soit-il scientifique, humain ou spirituel.

Grand merci à ma femme Fabienne, pour son soutien et son encouragement à tout instant, pour avoir joué les rôles de Papa et Maman pendant mes longues heures d'absence auprès de nos enfants, sans elle, mon travail n'aurait pas abouti.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XV
RÉSUMÉ	XVII
INTRODUCTION	1
0.1 Preamble	1
0.2 Problématique et Objectifs	2
0.3 Organisation du mémoire	4
CHAPITRE I	
CONCEPTS GÉNÉRAUX DU DOMAINE DE RECHERCHE	5
1.1 Les organisations de standardisation	5
1.1.1 AICC	5
1.1.2 IEEE LTSC	5
1.1.3 IMS.....	6
1.1.4 ADL.....	7
1.1.5 ARIADNE.....	8
1.2 Objets d'apprentissage	8
1.2.1 Définition	8
1.2.2 Les métadonnées d'un objet d'apprentissage.....	10
1.2.3 Les entrepôts d'objets d'apprentissage	11
1.3 Elearning.....	12
1.4 Web sémantique.....	14
1.5 Les ontologies.....	17
1.5.1 Langage standard pour les ontologies : Web Ontology Langage.....	19
1.5.1.1 Web Ontology Language 1 (OWL 1).....	19
1.5.1.2 Web Ontology Language 2 (OWL 2).....	20

1.5.2 Types d'ontologies.....	20
1.5.2.1 Les ontologies de représentation des connaissances.....	20
1.5.2.2 Les ontologies générales/communes.....	21
1.5.2.3 Les méta-ontologies.....	21
1.5.2.4 Les ontologies de domaine	21
1.5.2.5 Les ontologies de tâches	21
1.5.2.6 Les ontologies de domaine-tâche.....	21
1.5.2.7 Les ontologies d'application.....	22
1.5.2.8 Les ontologies d'index ou de structure	22
1.5.2.9 Les ontologies des rôles pédagogiques	22
1.6 Interrelation entre le eLearning, le web sémantique et Les ontologies.....	23
1.7 Les paradigmes des théories pédagogiques.....	25
1.7.1 Le béhaviorisme.....	25
1.7.2 Le cognitivisme	27
1.7.3 Le constructivisme.....	28
1.7.4 En résumé	29
CHAPITRE II	
COMPOSITION AUTOMATIQUE DES OBJETS D'APPRENTISSAGE :	
ÉTAT DE L'ART	33
2.1 Enjeux & défis.....	34
2.1.1 Granularité d'un objet d'apprentissage.....	34
2.1.2 Structure d'un objet d'apprentissage	34
2.1.3 Objet d'apprentissage : Composition et décomposition	35
2.1.4 Objet d'apprentissage : Interopérabilité.....	36
2.2 Composition automatique des objets d'apprentissage non fondée sur les ontologies	37
2.2.1 Analyse des approches existantes.....	38
2.2.1.1 L'Approche Centrée Processus : le courant Ingénierie Pédagogique	38
2.2.1.2 L'Approche Centrée Contenu : le courant Documentaliste.....	38
2.2.1.3 L'Approche centrée sur les Langages de Modélisation Pédagogique.....	39
2.2.2 Standards & Modèles.....	40
2.2.2.1 Dublin Core	40
2.2.2.1.1 Dublin Core : Les éléments de données définis.....	40
2.2.2.1.2 Dublin Core : Forces et faiblesses	41

2.2.2.2	LOM (Learning Object Metadata).....	41
2.2.2.2.1	LOM : Les aspects pertinents dans la composition des objets d'apprentissage	43
2.2.2.2.2	LOM : Forces et faiblesses	45
2.2.2.3	MLR (Metadata for Learning Resources)	46
2.2.2.3.1	Une vue d'ensemble	46
2.2.2.3.2	MLR : Présentation des différentes parties	47
2.2.2.3.3	MLR : Quel problème peut-il résoudre ?	48
2.2.2.3.4	MLR : Forces et faiblesses.....	50
2.2.2.4	SCORM (Sharable Content Object Reference Model).....	50
2.2.2.4.1	SCORM : Les aspects pertinents dans la composition des objets d'apprentissage	51
2.2.2.4.2	SCORM : L'environnement d'exécution	53
2.2.2.4.3	SCORM et les métadonnées	54
2.2.2.4.4	SCORM : Forces et faiblesses	55
2.2.2.5	NETg (National Education Training Group) Learning Object Model.....	57
2.2.2.5.1	NETg : Structure du modèle	58
2.2.2.5.2	NETg : Forces et faiblesses.....	59
2.2.2.6	Learnativity Content Model	60
2.2.2.6.1	Learnativity : Structure du modèle.....	60
2.2.2.6.2	Learnativity : Forces et faiblesses	61
2.2.2.7	NCOM (Navy Content Model).....	61
2.2.2.7.1	NCOM : Structure du modèle	61
2.2.2.7.2	NCOM : Forces et faiblesses	63
2.2.2.8	Cisco RLO / RIO Model	63
2.2.2.8.1	Cisco RLO / RIO : Structure du modèle.....	63
2.2.2.8.2	Cisco RLO / RIO : Forces et faiblesses	64
2.2.2.9	dLCMS (dynamic Learning Content Management System) Component Model.....	65
2.2.2.9.1	dLCMS : Structure du modèle	65
2.2.2.9.2	dLCMS : Forces et faiblesses	66
2.2.2.10	New Economy Didactical Model.....	67
2.2.2.10.1	New Economy Didactical Model : Structure du modèle.....	67
2.2.2.10.2	New Economy Didactical Model : Forces et faiblesses	71
2.2.2.11	SLM (Semantic Learning Model)	71
2.2.2.11.1	SLM : Structure du modèle.....	71
2.2.2.11.2	SLM : Forces et faiblesses	73
2.2.2.12	PaKMaS.....	73
2.2.2.12.1	PaKMaS : Structure du modèle.....	73
2.2.2.12.2	PaKMaS : Forces et faiblesses.....	74
2.2.2.13	EML (Educational Modelling Language)	75

2.2.2.13.1 EML: Structure du modèle.....	76
2.2.2.13.2 EML : Les aspects pertinents d'un modèle centré sur la Modélisation Pédagogique	77
2.2.2.13.3 EML : L'activité au centre du dispositif.....	79
2.2.2.13.4 EML : Typologie des activités et des ressources pédagogiques	79
2.2.2.13.5 EML : Forces et faiblesses	81
2.2.2.14 IMS-LD (Instructional Management System Learning Design).....	83
2.2.2.14.1 IMS-LD : Les concepts de base.....	83
2.2.2.14.2 IMS-LD : Le modèle de composition des objets d'apprentissage	85
2.2.2.14.3 IMS-LD : Forces et faiblesses	86
2.2.2.15 Synthèse sur les visions des différents standards / modèles.....	86
2.2.2.16 En Résumé.....	91
2.3 Composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies.....	92
2.3.1 SeLeNe	93
2.3.2 Trial-Solution.....	94
2.3.3 IMAT	95
2.3.4 ALOCOM.....	97
2.3.5 En Résumé.....	99
CHAPITRE III	
MODÈLE PROPOSÉ.....	103
3.1 Cadre méthodologique : le modèle "Knowledge Puzzle Content Model"	103
3.1.1 Vue d'ensemble	103
3.1.2 Architecture générale.....	104
3.1.3 Pourquoi "Knowledge Puzzle Content Model"	106
3.2 Extension du cadre méthodologique	108
3.3 Conception générale du modèle	112
3.3.1 Vue d'ensemble	112
3.3.2 Architecture générale.....	113
3.3.3 Formalisation	115
3.3.3.1 Les besoins de formation.....	115
3.3.3.2 Objet d'apprentissage (OA) et référencement sémantique.....	115
3.3.3.3 Les relations entre un besoin et un OA.....	116
3.3.4 Réalisation du prototype	117
3.3.4.1 Cas d'utilisation.....	118

3.3.4.1.1 Cas d'utilisation 1 (CU1) : Composer les objets d'apprentissage	119
3.3.4.1.2 Cas d'utilisation 2 (CU2) : Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin donné.....	121
3.3.4.1.3 Cas d'utilisation 3 (CU3) : Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine	123
3.3.4.1.4 Cas d'utilisation 4 (CU4) : Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique.....	124
3.3.4.1.5 Cas d'utilisation 5 (CU5) : Visualiser un scénario d'apprentissage	126
3.3.4.2 Diagramme de classe.....	127
3.3.4.2.1 Diagramme de classes de transfert de données (Data Transfert Object - DTO).....	127
3.3.4.2.2 Diagramme de classes de services et persistance	129
3.3.4.3 Diagramme de séquence	130
3.3.4.4 Présentation des algorithmes.....	131
3.3.4.4.1 Construire le scénario d'apprentissage.....	131
3.3.4.4.2 Sélectionner les ressources pertinentes	132
3.3.4.4.3 Ordonner les objets selon le référencement sémantique du domaine.....	133
3.3.4.4.4 Organiser le scénario d'apprentissage selon les principes pédagogiques.....	134
3.3.4.4.5 Afficher les objets sous forme de graphe selon leur ordre prédéfini.....	136
3.3.4.5 Implémentation	136
3.3.4.5.1 Choix de langage / architecture technique	136
3.3.4.5.2 Domaine d'apprentissage choisi et son ontologie.....	137
3.3.4.5.3 Édition des métadonnées des objets d'apprentissage	143
3.3.4.5.4 Interfaces graphiques du prototype	144
3.3.4.5.5 Validation du prototype	146
CHAPITRE IV	
CONCLUSION	147
4.1 Rappel des objectifs.....	147
4.2 Travail réalisé	147
4.3 Forces et faiblesses de notre approche.....	148
BIBLIOGRAPHIE	151

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Vue générale d'un OA (Downes, 2004 ; Verbert, 2008).....	10
1.2 Les couches du Web sémantique (Laublet, Reynaud et Charlet, 2002)	16
1.3 Représentation des trois (3) sous-langages de OWL 1 (Coulet, 2012).....	19
2.1 Représentation UML du modèle SCORM (Verbert, 2008).....	53
2.2 Principe de fonctionnement de SCORM (Pernin, 2003a).....	53
2.3 Structure d'un cours selon NETg (Verbert, 2008)	58
2.4 La représentation UML du modèle d'objets d'apprentissage selon NETg (Verbert, 2008).....	59
2.5 La représentation UML du Modèle de Learnativity (Verbert, 2008)	61
2.6 Représentation UML du modèle NCOM (Verbert, 2008).....	62
2.7 Structure des RLO et RIO selon le modèle Cisco (Barrit, Lewis et Wieseler, 1999 ; Verbert, 2008)	63
2.8 Représentation UML du modèle dLCMS (Verbert, 2008).....	66
2.9 La représentation UML du modèle de New Economy Didactical Model (Verbert, 2008).....	69
2.10 La représentation UML du modèle SLM (Verbert, 2008).....	72
2.11 La représentation UML du modèle PaKMaS (Verbert, 2008).....	74
2.12 EML, une vue simplifiée du modèle : l'activité est au centre du dispositif (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a)	79
2.13 Différents types d'activités et de ressources pour EML (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a)	81
2.14 Présentation d'un scénario (Pernin, 2003b).....	84
2.15 Les trois niveaux de conception d'IMS LD (Pernin et Lejeune, 2004a)	85

2.16	Organisation des unités d'apprentissage et agrégation des ressources de manipulation de contenu (Pernin et Lejeune, 2004b)	86
2.17	Vue du schéma descriptif des objets d'apprentissage dans SeLeNe (Keenoy <i>et al.</i> , 2004 ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a).....	94
2.18	La plateforme Trial Solution (Buffa <i>et al.</i> , 2005)	95
2.19	Collection d'outils interopérables de IMAT (De Hoog <i>et al.</i> , 2002)	97
2.20	Les niveaux d'agrégation de ALOCOM pour l'interopérabilité entre les modèles : Learnativity, dLCMS, PaKMaS et SLM (Verbert, 2008).....	98
2.21	Les concepts de ALOCOM pour l'interopérabilité entre les modèles : Learnativity, dLCMS, PaKMaS et SLM (Verbert, 2008).....	99
3.1	Architecture générale de la composition automatique des objets d'apprentissage (Zouaq et Nkambou, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a)	105
3.2	Processus d'acquisition de l'ontologie de domaine à travers l'outil TEXCOMON (Zouaq et Nkambou, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a)	105
3.3	Objet d'apprentissage ou objet pédagogique selon les 3 visions (Pernin, 2003a).	112
3.4	Architecture générale de la composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies et les théories pédagogiques.....	114
3.5	Cycle de développement en Y (Roques et Vallée, 2011).....	118
3.6	Diagramme de cas d'utilisation CU1	119
3.7	Diagramme de cas d'utilisation CU2	122
3.8	Diagramme de cas d'utilisation CU3	123
3.9	Diagramme de cas d'utilisation CU4.....	125
3.10	Diagramme de cas d'utilisation CU5	126
3.11	Diagramme de classe pour le transfert des données (Data Transfer Object -DTO).....	128
3.12	Diagramme de classes pour les couches Service et Persistance.....	129
3.13	Diagramme de séquence du processus de composition du scénario d'apprentissage	130

3.14	Vue graphique (owlViz) des cinq (5) concepts de 1er niveau	138
3.15	Vue graphique (owlViz) des concepts du modèle des données	139
3.16	Vue graphique (owlViz) des concepts des instructions et des expressions .	139
3.17	Vue graphique (owlViz) des concepts des structures de contrôle	140
3.18	Vue graphique (owlViz) des concepts de l'encapsulation	141
3.19	Vue graphique (owlViz) des concepts de relation entre les composants encapsulés	141
3.20	Vue graphique (owlViz) de tous les concepts définis.....	142
3.21	Une vue de LOMPAD en action lors de l'édition des types de variables	143
3.22	Interface de composition des objets au démarrage de l'application.....	145
3.23	Interface de composition des objets après une composition (domaine = "Introduction à la programmation Java", Besoin d'apprentissage = "Types primitifs", Théorie Pédagogique = "Cognitivisme")	145
3.24	Interface de composition des objets après une composition (domaine = "Introduction à la programmation Java", Besoin d'apprentissage = "Structures sélectives", Théorie Pédagogique = "Béhaviorisme")	146

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Tableau comparatif des trois (3) principaux paradigmes des théories pédagogiques (Basque, Rocheleau et Winer, 1998)	31
2.1 Les catégories de LOM et leur nombre d'éléments.....	43
2.2 Description des éléments du LOM permettant de mieux définir la nature d'un objet d'apprentissage (Pernin, 2003a)	43
2.3 Granularité des différents types d'objets dans le LOM (Pernin, 2003a).....	45
2.4 Table de correspondance entre les modèles SCORM et NCOM.....	62
2.5 Une vue d'ensemble des éléments de contenus impliqués dans la construction des RLOs types, des vues d'ensembles et des sommaires RLO, r = obligatoire (required), o = optionnel (optional) (Schluep, Bettoni et Guttormsen Schär, 2006 ; Verbert, 2008).....	64
2.6 Les différents niveaux d'assemblage du modèle New Economy Didactical (Verbert, 2008)	70
2.7 Table de correspondance entre les modèles SLM et Learnativity	72
2.8 Tableau de comparaison des modèles LOM, SCORM, et EML (Pernin, 2003a).....	87
2.9 Tableau comparatif des modèles SCORM, NETg Content, Learnativity, NAVY, Cisco RLO / RIO, dLCMS, New Economy Didactical Model, SLM, PaKMaS (Verbert, 2008).....	89

RÉSUMÉ

Un des grands défis de l'apprentissage en ligne est la difficulté de composition des scénarios de formation à partir des objets d'apprentissages sémantiquement référencés pour répondre aux besoins spécifiques de formation. Un tel travail demande l'acquisition des connaissances du domaine qui repose généralement sur des experts humains du domaine et sur un processus d'explicitation de leurs connaissances. Il en est de même pour les principes devant guider la composition des scénarios afin de garantir leur qualité (valeurs pédagogiques). Répondre rapidement à ces besoins d'apprentissage par la proposition d'un contenu approprié ainsi d'un cheminement d'apprentissage efficace et pédagogiquement valide est une nécessité, tant dans la formation classique en ligne que dans la formation en milieu industriel. L'offre d'une solution permettant d'atteindre un tel objectif contribuerait à une économie de coûts liés à la formation.

Ce mémoire rend compte d'un travail visant à proposer une solution novatrice pour générer un contenu sur mesure (selon un besoin précis) et ainsi qu'un parcours pédagogiquement valide de celui-ci. la méthode s'appuie essentiellement sur une ontologie du domaine pour sélectionner les éléments de contenus appropriés (ou objets d'apprentissage) et sur un ensemble de principes pédagogiques explicites pour les structurer. Après un état de l'art conséquent qui met en perspectives l'ensemble des domaines en jeu (elearning, web sémantique et ingénierie ontologique), les standards disponibles dans le domaine du elearning pour la gestion des contenus d'apprentissage, et les problèmes de composition automatique (fondée ou non sur les ontologies) des objets d'apprentissage, une architecture générale de l'approche proposée est présentée, illustrant clairement les éléments qui soutiennent le processus de composition. Ce dernier comporte essentiellement trois (3) étapes: la sélection des ressources pertinentes, leur organisation (par la prise en compte des contraintes de référencement sémantiqueréalisé à partir de l'ontologie du domaine) et la scénarisation pédagogique qui prend en compte les principes de la théorie pédagogique sélectionnée. Un modèle définissant les opérateurs essentiels est proposé ainsi que des algorithmes qui implémentent les différents services. Un outil a été réalisé et testé avec des contenus d'un cours de programmation en Java.

MOTS CLÉS : elearning, web sémantique, ontologies, objets d'apprentissage, théories pédagogiques, composition automatique des objets d'apprentissage.

INTRODUCTION

0.1 Preambule

Nul ne doute à l'heure actuelle de l'apport de l'internet dans l'échange d'informations à travers le monde. Cette soif intense d'échange de savoir, les besoins incessants des entreprises pour améliorer le niveau de connaissances de leurs employés, la qualité de leurs services face à la compétition et à la volatilité des marchés sont alimentés par la mise en place d'énormes quantités d'informations sur le Web. Mais malheureusement la plus part des outils d'échange d'information pour des fins de formation ne permettent pas d'obtenir rapidement, à temps les documents pertinents répondant exactement aux besoins exprimés par les usagers et/ou les entreprises. Par ailleurs, on remarque l'insuffisance ou l'absence de l'application d'une approche pédagogique que ce soit au niveau de la présentation des ressources pédagogiques ou d'ordonnancement des activités d'apprentissage dans les outils actuels (Psyché *et al.*, 2005). L'on y note également un manque criant du concept de généricité, de réutilisation et de partage des ressources disponibles.

Dès lors, il est devenu clair que les nouvelles formes d'apprentissage occuperont une place primordiale dans l'évolution des entreprises pour concurrencer non seulement sur le plan formation mais également sur le plan économique (Drucker, 2000).

Ainsi, pour faire face à ces défis d'apprentissage dans le souci de personnaliser les informations pertinentes et de les rendre rapidement, juste à temps aux utilisateurs ou apprenants tout en garantissant l'interopérabilité et la réutilisation, d'autres nouvelles formes de technologies ont fait leur apparition dont le web sémantique et les ontologies, ainsi que des standards. Ces outils ont pour but de permettre la

description, l'indexation et le stockage des ressources pédagogiques afin de faciliter leur partage entre humains, entre machines et entre humains et machines. Plusieurs standards ont donc été proposés aussi bien pour l'emballage des contenus (*Content Packaging*) que pour la scénarisation pédagogique (*Learning Design*). Parmi les standards les plus populaires, nous pouvons citer : IEEE LOM (*Learning Object Metadata*), ADL SCORM (*Sharable Content Object Reference Metadata*), IMS-LD (*Instructional Management System Learning Design*) ou plus récemment la toute première norme du eLearning produite par ISO, soit le MLR (*Metadata Learning Resource*).

Les acteurs en présence visent à relever des défis de nature différente, parfois en synergie mais représentant aussi des points de vue divergents voire contradictoires. En particulier, l'absence d'un cadre commun de référence en termes de vocabulaire, d'organisation, d'architecture, ne permet pas de disposer des outils nécessaires à l'évaluation et la confrontation des différentes solutions proposées (Pernin, 2003a).

0.2 Problématique et Objectifs

Un des grands défis de l'apprentissage en ligne est la difficulté de l'acquisition des connaissances du domaine qui repose généralement sur des experts humains du domaine et sur un processus d'explicitation de leurs connaissances. Cette approche est non seulement ardue, mais nécessite une explication continue de chaque domaine et une tâche de maintenance difficile afin refléter les évolutions du domaine (Buffa *et al.*, 2005 ; Sunil Prakash, Kutti et Sajeev, 2010 ; Zouaq et Nkambou, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007b). Au delà de ces défis liés à l'acquisition des connaissances du domaine, il y a celui de la production d'un contenu adapté aux besoins de l'apprenant. Dans cette perspective, il s'agit généralement de créer et d'entreposer des ressources ou objets d'apprentissages pour ensuite en sélectionner et organiser celles pertinentes pour un besoin de formation donné. Le processus de sélection et d'organisation de ressources pour répondre à un besoin d'apprentissage

est connu généralement sous le nom de scénarisation ou composition de d'objets d'apprentissage. Le principal défi (dans cette perspective) est de soutenir ce processus par des outils pouvant aider à l'automatiser et à optimiser la qualité des scénarios produits.

Tous ces défis ont conduit à l'émergence de plusieurs standards, modèles et projets sur le processus de composition automatique (ou du moins semi-automatique) des objets d'apprentissage dont l'idée générale consiste à découper des documents électroniques en unités structurelles, fonctionnelles et sémantiques qui sont ensuite annotées avec les métadonnées sur leurs contenus sémantiques en lien avec les connaissances du domaine, leurs caractéristiques pédagogiques et leurs interrelations. Ces unités sont nommées objets d'apprentissage ou objets pédagogiques dédiés à l'apprentissage et réutilisées pour la composition d'autres ressources pédagogiques (Abel *et al.*, 2004 ; Hayashi, Bourdeau et Mizoguchi, 2009 ; Zouaq et Nkambou, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c).

Ces standards, modèles, et projets se sont plus concentrés sur la génération des métadonnées des objets d'apprentissage et les ontologies proposées pour améliorer ces métadonnées, mais ils ont négligé en général le rôle des ontologies de domaine pour décrire le contenu d'apprentissage des objets et les théories pédagogiques pour réguler leur composition afin d'aboutir à des organisations d'objets d'apprentissage non seulement qui sont pédagogiquement efficaces (car fondées sur des théories pédagogiques appropriées), mais qui sont aussi ancrées sémantiquement (car reposant sur une base de connaissances explicite du domaine).

La question que nous nous sommes donc posée au début de ce travail est la suivante: Est-il possible de développer un processus efficace de composition automatique des objets d'apprentissage guidé à la fois par l'ontologie du domaine et les théories pédagogiques ?

L'objectif de ce travail est de proposer un modèle efficace de composition automatique des objets d'apprentissage basée sur les ontologies du domaine et régulée par les théories pédagogiques. Ce modèle permettra d'obtenir un scénario de formation bien adapté au profil de l'apprenant, bien ancré sémantiquement (grâce à l'exploitation d'une ontologie servant de mémoire sémantique du domaine et utilisée pour le référencement des objets d'apprentissages), et pédagogiquement efficace.

0.3 Organisation du mémoire

En plus de l'introduction, ce mémoire comporte 4 autres chapitres. Le chapitre 1 présente les concepts généraux du domaine de recherche dont le eLearning, le Web sémantique, les ontologies, et la relation entre ces trois concepts. Le chapitre 2 présente un état de l'art sur la composition automatique des objets d'apprentissage. L'accent est particulièrement mis sur les standards, les modèles, et les projets de recherche ayant traités de la composition des objets d'apprentissage. Le chapitre 3 décrit le modèle proposé, le cadre méthodologique de base ainsi que les ajustements que nous y avons apportés. L'architecture du système proposé ainsi que sa spécification sont aussi présentées dans ce chapitre. On y traite aussi de l'implémentation de la solution incluant : le choix des outils, le choix des langages utilisés, et une liste exhaustive des services implémentés. Le mémoire termine par la conclusion (chapitre 4) qui fait ressortir les contributions, les limites de la proposition et quelques perspectives. Une liste des références bibliographiques utilisées est ensuite proposée.

CHAPITRE I

CONCEPTS GÉNÉRAUX DU DOMAINE DE RECHERCHE

Je ne saurais commencer à expliquer les forces et les faiblesses des approches existantes pour la composition d'objets d'apprentissage sans un court rappel de certains concepts fondamentaux associés à cette problématique, notamment un objet d'apprentissage, les organisations de standardisation, le eLearning, le Web sémantique, les ontologies et le lien entre ces derniers concepts, les enjeux et les défis.

1.1 Les organisations de standardisation

Dans cette section, nous donnons une brève description des grandes organisations qui ont contribué au développement des standards dans le domaine du eLearning telles que : AICC, IEEE LTSC, IMS, ADL, et ARIADNE.

1.1.1 AICC

Aviation Industry Computer-based training Committee (AICC) est une organisation internationale de l'apprentissage professionnel basée sur la technologie (Totkov, Krusteva et Baltadzhiev, 2004). Il a publié la spécification pour l'échange des éléments du cours virtuel sous forme de texte, images, images animées, audio.

1.1.2 IEEE LTSC

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) est une organisation internationale qui développe les standards techniques et recommandations pour

l'électrique, l'électronique, ordinateurs et les systèmes de communication. IEEE Learning Technology Standard Committee (IEEE LTSC) (Hodgins et Duval, 2002 ; Verbert, 2008) est reconnu dans le développement des standards techniques accrédités, les pratiques recommandées, et les guides dans les technologies d'apprentissage en ligne. Le LOM (dont les détails seront donnés plus tard) est la spécification de IEEE LTSC la plus connue et très utilisée par d'autres organisations de standardisation pour la description et l'indexation des ressources d'apprentissage.

En plus du LOM, LTSC est aussi impliquée dans le développement des standards pour plusieurs autres aspects des technologies d'apprentissage comme :

- ✓ La gestion des conditions et permissions des objets d'apprentissage (Digital Rights Expression Languages - DREL). En standardisant ces informations, les droits assignés par les auteurs ou éditeurs à un objet d'apprentissage peuvent être préservés à travers tous les systèmes ou l'objet est utilisé ;
- ✓ L'élaboration des normes qui couvrent entre autres le contenu des cours, l'organisation et l'ordonnancement des leçons individuelles en un cours, les logiciels de gestion des cours et la communication entre ces logiciels et les leçons (Computer Managed Instruction - CMI) ;
- ✓ L'élaboration des standards de définition d'un modèle de données pour décrire, référencer, et partager les définitions de compétence, principalement le contexte de distribution d'apprentissage en ligne (Reusable Competency Definition – RCD).

1.1.3 IMS

Instructional Management Systems (IMS), depuis 1997, est largement impliqué dans la création d'un ensemble de standards pour l'échange des contenus d'apprentissage entre les écoles, les entreprises et les gouvernements (Consortium, 2003 ; Verbert, 2008). Sa mission principale est de supporter l'adoption et l'utilisation des technologies d'apprentissage internationales en développant des spécifications

techniques ouvertes pour des techniques d'apprentissage interopérables. Ces spécifications incluent (Consortium, 2003):

- ✓ La spécification pour décrire et paqueter les objets d'apprentissage comme un cours individuel ou un ensemble de cours dans des packages interopérables et distribuables (IMS Content Packaging). Le "Content Packaging" assure la description, la structure, la location des objets d'apprentissage en ligne et la définition de quelques types de contenus particuliers ;
- ✓ La spécification sur les recommandations pour l'interopérabilité des fonctions communes d'entreposage (IMS Digital Repository) ;
- ✓ La prise en charge de l'utilisation d'une large gamme de méthodes pédagogiques dans l'apprentissage en ligne en fournissant les éléments requis pour exprimer de telles pédagogies (IMS Learning Design = IMS LD). Nous donnerons plus de détails sur IMS – LD dans le chapitre sur la composition automatique des objets d'apprentissage ;
- ✓ La spécification pour décrire un modèle de données pour la représentation des questions, des données de tests, et les rapports de résultats correspondants (IMS Question & Test Interoperability = IMS - QTI). IMS – QTS élaborent aussi sur les échanges entre les outils de création, les systèmes d'apprentissage et d'évaluation.
- ✓ La spécification pour définir la représentation d'un comportement attendu lors d'une expérience d'apprentissage. Cette spécification comporte des règles qui décrivent les branchements et les flux d'instruction à travers le contenu, selon les résultats des interactions de l'apprenant avec le contenu du cours (IMS Simple Sequencing = IMS SS) ;

1.1.4 ADL

Advanced Distributed Learning (ADL) a été bâti en 1997 par le département de défense américain d'utilisation des technologies d'information et d'apprentissage

pour moderniser l'éducation et la formation et promouvoir la coopération entre le gouvernement, les entreprises et les écoles (Verbert, 2008).

La publication la plus connue de ADL est le "Shareable Content Object Reference Model" (SCORM) dont nous y reviendrons en détails dans le chapitre sur la composition automatique des objets d'apprentissage.

1.1.5 ARIADNE

ARIADNE pour *Association of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe*, est une association dont le but est de promouvoir le partage et la réutilisation des objets d'apprentissage. Le noyau de son infrastructure est un réseau distribué d'entrepôts d'objets d'apprentissage. En collaboration avec IMS, ARIADNE a présenté en 1998 une proposition conjointe et spécification à IEEE LTSC qui était la base de la norme LOM (Cardinaels, 2007 ; Verbert, 2008).

1.2 Objets d'apprentissage

1.2.1 Définition

Plusieurs définitions ont été faites autour de la notion d'objet d'apprentissage. Une des premières définitions faite par IEEE Learning Technology Standard Committee en 2002 est : Un objet d'apprentissage est une entité numérique ou non numérique, qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée dans un contexte d'apprentissage.

Cette définition paraissait très large pour David Wiley (Wiley, 2001), car elle ne parvient pas à exclure une personne, un lieu ou une idée qui a existé à tout moment dans l'histoire de l'univers. Ainsi, il suggère une autre définition plus restreinte : un objet d'apprentissage est toute ressource numérique qui peut être réutilisée pour soutenir l'apprentissage.

D'autres définitions ont mis l'accent sur les composants de l'objet d'apprentissage tels que : un objectif d'apprentissage, une unité d'instruction et une unité d'évaluation

(Verbert, 2008). Le facteur temps a aussi été mentionné par "Wisconsin Online Resource Center", qui a défini un objet d'apprentissage comme une petite unité d'apprentissage dont le temps requis pour l'apprendre varie typiquement entre 2 à 15 minutes.

Ainsi, même s'il n'y a pas tout à fait une définition générale acceptée, il y a néanmoins un consensus sur ce que devrait-être un objet d'apprentissage. Un objet d'apprentissage doit être (Verbert, 2008):

- ✓ Réutilisable : peut être modifiable et avoir plusieurs versions pour différents cours ;
- ✓ Accessible : peut être indexé et extrait en utilisant la métadonnée de description ;
- ✓ Interopérable et portable : peut fonctionner à travers différents logiciels ;
- ✓ Durable : peut rester intacte à travers les différentes mises à jour des logiciels.

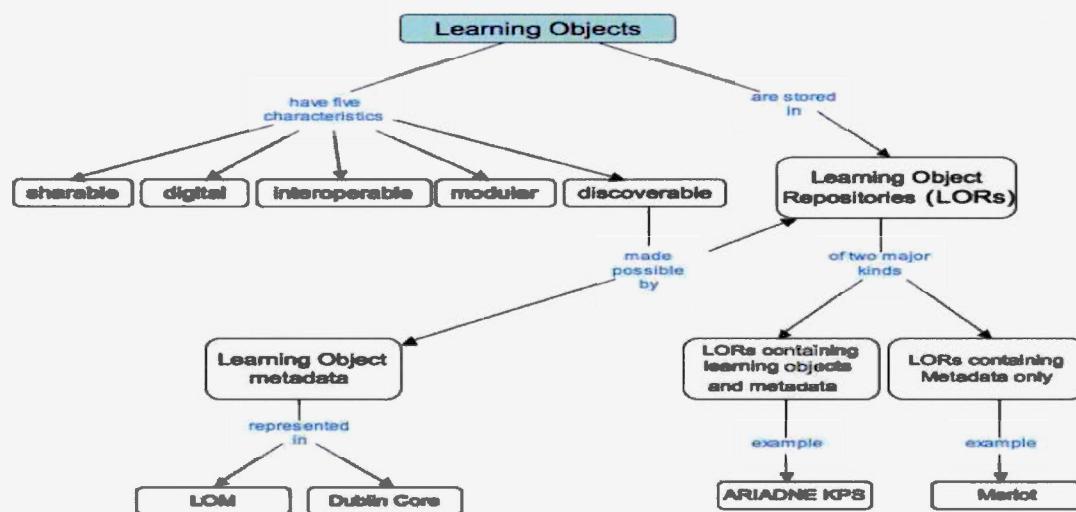
Ces caractéristiques ci-dessus citées sont souvent référencées comme les principes RAID. D'autres chercheurs comme Stephen Downes (Downes, 2004) ont affirmé qu'un objet d'apprentissage est ou devrait être :

- ✓ Partageable : créé à une seule place, mais peut être utilisable dans plusieurs différents cours ;
- ✓ Numérique : peut être distribué à travers l'internet ;
- ✓ Modulaire : une très capacité d'être combiné avec plusieurs ressources ;
- ✓ Interopérable : capable d'être utilisé par différentes institutions utilisant différents outils et systèmes ;
- ✓ Identifiable / détectable : facilement retrouvable.

Tous ces attributs mentionnés sont très importants et interdépendants. La facilité d'identifier un objet d'apprentissage dépend des métadonnées qui le décrivent et de l'entrepôt dans lequel il est stocké. Également, l'interopérabilité et le partage sont les

principaux objectifs des importants travaux de standardisation dans le domaine du eLearning. Nous aborderons les éléments dans les sections suivantes.

Figure 1.1 Vue générale d'un OA (Downes, 2004 ; Verbert, 2008)



Dans le cadre de ce travail, nous considérons qu'un objet d'apprentissage ou objet pédagogique est une unité de connaissances intégrée, reliée à une discipline ou à un sujet (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007b). Il peut donc être considéré comme une source de connaissance fiable sur le sujet traité.

1.2.2 Les métadonnées d'un objet d'apprentissage

Les métadonnées d'un objet d'apprentissage (en anglais Learning Object Metadata) est un schéma XML pour décrire un objet d'apprentissage. Le but principal des métadonnées est d'indexer un objet d'apprentissage pour permettre l'identification, l'extraction de ces derniers et de faciliter leur réutilisation. Une description détaillée des standards / modèles sur les métadonnées sera vu dans le chapitre sur la composition automatique des objets d'apprentissage.

1.2.3 Les entrepôts d'objets d'apprentissage

Les objets d'apprentissage sont stockés dans des bases de données nommées Entrepôt d'Objets d'Apprentissage (en anglais Learning Object Repositories = LOR). Il y a des entrepôts qui contiennent les objets d'apprentissage et leurs métadonnées ; tandis que d'autres contiennent seulement des métadonnées qui font référence aux objets d'apprentissage stockés à d'autres places externes aux entrepôts. Ces derniers sont utilisés comme outil pour localiser les objets d'apprentissage (Downes, 2004).

Il existe deux (2) grands modèles d'entrepôts : le 1^{er} modèle dit *centralisé* identifie les entrepôts dont les objets d'apprentissage et les métadonnées sont stockés dans le même serveur. Le 2^e modèle dit *distribué* dont les métadonnées sont stockés dans plusieurs serveurs connectés les uns aux autres. Ci-dessous quelques exemples d'entrepôts d'objets d'apprentissage (Verbert, 2008) :

- ✓ CAREO pour "Campus Alberta Repository for Educational Objects" est un entrepôt centralisé d'objets d'apprentissage pour les éducateurs de l'Alberta (Friesen et McGreal, 2002). Il contient des métadonnées et fournit l'accès aux objets d'apprentissage stockés dans des serveurs Web. Il utilise LOM pour la description des objets d'apprentissage ;
- ✓ MERLOT pour "Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching" est un entrepôt centralisé contenant seulement des métadonnées qui pointent sur des objets d'apprentissage à l'extérieur. Merlot utilise son propre format de métadonnées pour décrire les objets d'apprentissage (Cafolla, 2006);
- ✓ EdNA pour "Education Network Australia Online" est un entrepôt centralisé d'objets d'apprentissage en Australie (Adcock, Ip et Mason, 2000). Il utilise le format de métadonnées basé sur Dublin Core Metadata Element Set (DCMES) ;

- ✓ "ARIADNE Knowledge Pool System" est un entrepôt distribué d'objets d'apprentissage et leurs métadonnées (Duval et al., 2001). Il utilise le standard LOM pour la description des objets d'apprentissage ;
- ✓ Edutella est un entrepôt distribué (peer-to-peer) qui contient seulement les métadonnées (Nejdl et al., 2002). Ces métadonnées sont basées sur RDF / LOM.

1.3 Elearning

De nos jours, les entreprises doivent sans cesse s'adapter à l'évolution des marchés, des processus métiers et des outils logiciels mis à leur portée. Sachant que tout change de plus en plus vite, trouver le temps nécessaire à l'apprentissage tant du côté des enseignants que des apprenants tout en assurant ses tâches quotidiennes devient très difficile et constitue un véritable défi (Boutemedjet, 2004). Toute cette problématique a été à la base de l'idée d'automatisation de l'apprentissage qui a vu le jour avec pour objectif de remplacer l'apprentissage physique par un virtuel. Ce type de technologie d'apprentissage nommé *Computer Based Training* (CBT), développé depuis le début des années 60, est le précurseur de ce qui est connu de nos jours comme étant le eLearning.

Le eLearning ou apprentissage en ligne est une activité pédagogique qui vise à acquérir ou à approfondir des connaissances tout en repoussant les contraintes de temps et d'espace entre l'apprenant et l'enseignant, par l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication (Boutemedjet, 2004).

En détaillant cette définition ci-dessus mentionnée de l'eLearning, nous pouvons subdiviser les objectifs visés en deux (2) grandes catégories (Boutemedjet, 2004 ; Dieng-Kuntz et Gandon, 2005):

- ✓ Du point de vue des entreprises, on parlera d'une formation cohérente et simultanée d'un grand nombre d'employés, une adaptation flexible à leurs

exigences spécifiques, une réduction des efforts et coûts du support interne, un gain de productivité plus rapide grâce à une approche plus pratique et enfin un développement actif d'une culture décisionnelle favorisant une intégration naturelle entre l'informatique et les autres pôles fonctionnels ;

- ✓ Du point de vue des apprenants ou utilisateurs, une acquisition plus personnalisée des connaissances et compétences, associée à une libre modulation du rythme d'apprentissage, un accès à des contenus pédagogiques souples grâce à la structure modulaire, une vérification simple de l'acquisition des connaissances, une familiarisation plus facile avec la nouvelle solution et intégration plus rapide dans les processus quotidiens grâce aux exemples pratiques. Autrement dit se former à tout moment et à son rythme.

Cette vision orientée Entreprise ou commerciale, dont l'objectif principal est de former plusieurs apprenants (employés) en sauvant du temps et en accroissant la productivité, a conduit à la mise en place de plusieurs plateformes connues sous le nom de Learning Management System (LMS). Ces plateformes LMS sont regroupées en deux (2) groupes selon leur type de licence parmi lesquelles nous citerons quelques unes ci-dessous (Wikipédia, 2013a):

- ✓ Licence propriétaire : DECclic, EDUMATIC, Blackboard, eduZone LMS, Tactic, etc.
- ✓ Licence libre : Atutor, Chamilo, Totara, Dokeos, Ganesha, Jalon, Moodle, etc.

Qu'il soit propriétaire ou libre (open source), un Learning Management System est un logiciel pour des formations ouvertes et à distance et regroupe les outils nécessaires aux trois principaux utilisateurs - formateur, apprenant, administrateur - d'un dispositif qui a pour premières finalités la consultation à distance de contenus pédagogiques. Un tel système est composé généralement (Wikipédia, 2013a):

- ✓ d'une communauté d'apprenants ;
- ✓ d'une plate-forme d'apprentissage ;
- ✓ des tuteurs ou animateurs ;
- ✓ des contenus textuels ou multimédia didactiques ;
- ✓ de stratégies pédagogiques ;
- ✓ des activités de validation de connaissance.

En analysant de près, un des populaires LMS connu sous le nom de Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), j'ai constaté également que c'est une plateforme d'apprentissage en ligne (open source), qui permet la création de cours / exercices en ligne destinés à un ensemble d'apprenants sans tenir compte de leurs profils et de leurs besoins différents d'adaptation et de formation. La cible est un groupe d'apprenants sans aucune individualisation du contenu.

Comme tout autre LMS, Moodle est un système d'information intégré ou monolithique qui apporte un ensemble d'avantages et d'inconvénients. Sur le plan positif, il offre des économies de coûts et autres avantages grâce à la normalisation mais, en même temps, il limite la flexibilité, la compétitivité, l'autonomie et l'augmentation de la rigidité (Light, Holland et Wills, 2001). La solution proposée dans ce document apporte une solution à ces problématiques.

1.4 Web sémantique

Comme son nom l'indique, l'expression Web sémantique se compose de deux (2) principaux mots : Web et sémantique. Le Web est aujourd'hui l'élément de base (l'environnement par défaut) de l'apprentissage en ligne. C'est aussi une source phénoménale d'information constituée de ressources multimédias (pages de textes enrichies de sons, graphiques, images fixes et animées, vidéos, etc.) qui sont reliés entre eux par des liens hypertextes. Le mot « sémantique » réfère à la sémantique associée à ces ressources. Cette sémantique se décline généralement par une meilleure structuration des ressources du web pour permettre à la machine de les

traiter plus efficacement afin de répondre à des requêtes souvent complexe des humains. Cette dimension sémantique oblige à recourir à des langages de structurations de données comme RDF par exemple.

En bref, le Web sémantique désigne un ensemble de technologies visant à rendre le contenu des ressources du Web accessible et utilisable par les programmes/agents logiciels et les humains, grâce à un système de métadonnées formelles, utilisant notamment la famille de langages développés par le W3C (Wikipédia, 2013b). Il est important d'attirer l'attention sur Tim Berners-Lee qui fut le premier à introduire la notion de métadonnées utilisables par les machines dès 1994 (Berners-Lee, Hendler et Lassila, 2001).

Ainsi, nous comprenons que Le Web sémantique n'est pas un concurrent du Web, mais plutôt un complément de ce dernier. Il s'appuie donc sur la fonction primaire du Web « classique » : un moyen de publier et consulter des documents. Par contre les documents traités par le Web sémantique contiennent non pas des textes en langage naturel, mais des informations structurées et formalisées pour être traitées automatiquement. Ces documents sont générés, traités, échangés par des logiciels. L'idée générale du Web sémantique (Wikipédia, 2013b) est de permettre aux logiciels de :

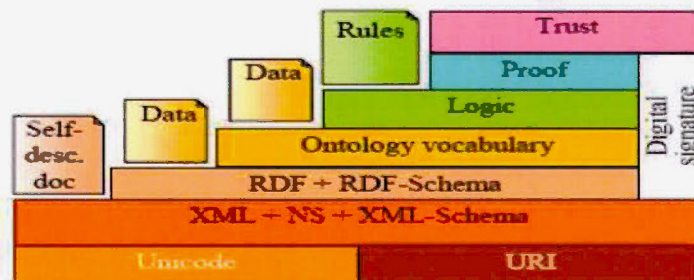
- ✓ générer des données sémantiques à partir de la saisie d'information par les utilisateurs ;
- ✓ agréger des données sémantiques afin d'être publiées ou traitées ;
- ✓ publier des données sémantiques avec une mise en forme personnalisée ou spécialisée ;
- ✓ échanger automatiquement des données en fonction de leurs relations sémantiques ;
- ✓ générer des données sémantiques automatiquement, sans saisie humaine, à partir de règles d'inférences.

La mise en place du Web sémantique sera bâtie sur le pouvoir de formalisme du langage à balises étendu XML (eXtensible Markup Language) (Wikipédia, 2013b). Ainsi, Les travaux visant la réalisation du Web sémantique se situent à des niveaux de complexité très différents (Laublet, Reynaud et Charlet, 2002). Les plus simples utilisent des jeux plus ou moins réduits de métadonnées dans un contexte de recherche d'information ou pour adapter la présentation des informations aux utilisateurs.

Dans ce cas, des langages de représentation simples (XML, XML Schema, RDF, et RDF Schema, etc.) sont suffisants. Dans les travaux plus complexes mettant en œuvre des architectures sophistiquées, pour permettre par exemple l'exploitation de ressources hétérogènes; des langages plus expressifs (Web Ontology Language : OWL Lite, OWL-DL, OWL-Full et SWRL, etc.) et plus formels issus des travaux en représentation et en ingénierie des connaissances, sont nécessaires.

Malgré l'efficacité des OWL, certains problèmes sont identifiés dans la version actuelle, d'où l'apparition d'une extension nommée Web Ontology Language 2 ou OWL 2 recommandée W3C depuis le 22 octobre 2009. Le OWL 2 contient aussi trois (3) sous-langages dont vous trouverez les détails dans la section sur les ontologies. Ci-dessous une des versions de l'organisation en couches du Web sémantique proposée par W3C.

Figure 1.2 Les couches du Web sémantique (Laublet, Reynaud et Charlet, 2002)



Cette organisation en couches, proposée par Tim Berners-Lee (Berners-Lee, Hendler et Lassila, 2001) permet une approche graduelle dans les processus de standardisation et d'acceptation par les utilisateurs. D'autre part, elle permet de disposer du langage au bon niveau de complexité, celle-ci étant fonction de l'application à réaliser.

1.5 Les ontologies

Dans cette section, je parlerai de l'ontologie en général, et en particulier de l'ontologie selon l'approche informatique.

En intelligence artificielle, une "ontologie" n'est pas une science, mais un objet, le fruit d'une tentative de formulation exhaustive et rigoureuse de la conceptualisation d'un domaine. Cette formulation inclut classiquement, une organisation hiérarchique des concepts pertinents, des relations qui existent entre ces concepts, des règles et axiomes qui les contraignent (Chandrasekaran, Josephson et Benjamins, 1999). Une ontologie informatique permet, en particulier grâce aux travaux de l'intelligence artificielle d'implanter des mécanismes de raisonnement déductif, de classification automatique, de recherche d'information et d'assurer l'interopérabilité.

Sans trop m'attarder sur les différentes définitions de l'ontologie selon la perspective informatique, j'aimerais néanmoins mentionner la vision de Chandrasekaran (Chandrasekaran, Josephson et Benjamins, 1999) selon laquelle une ontologie est une théorie du contenu sur les sortes d'objets, les propriétés de ces objets et leurs relations possibles dans un domaine spécifié de connaissances. Elle fournit les termes potentiels pour décrire les connaissances sur ce domaine. Bref, le monde est constitué d'objets, dont les propriétés ou attributs peuvent prendre des valeurs. Les objets peuvent être associés par des relations, par exemple être composés de parties, propriétés et relations qui peuvent varier au cours du temps. Ces variations mettent en jeu des événements et des processus, éventuellement associés par la relation de causalité.

Outre le sens philosophique originel, une ontologie désigne en effet une modélisation conceptuelle, ou une représentation de cette modélisation (Giaretta, 1995). Dans les deux cas, on parle d'ontologie formelle pour désigner aussi bien la rigueur de la modélisation que la structure de sa représentation. Cela nous amène à la notion de convention ontologique, qui est une modélisation conceptuelle du sens du formalisme de représentation.

La construction d'une ontologie disposera d'au moins trois (3) de ces notions :

- ✓ Détermination des agents passifs ou actifs ;
- ✓ Leurs conditions fonctionnelles et contextuelles ;
- ✓ Leurs transformations possibles vers des objectifs limités.

Lors de la modélisation conceptuelle d'une ontologie, l'accent sera mis sur les éléments ci-dessous :

- ✓ Raffiner les vocabulaires et notions adjacentes ;
- ✓ Décomposer en catégories et autres sujets ;
- ✓ Relativiser afin d'englober des concepts ;
- ✓ Regrouper les similaires afin de réduire à des bases totalement distinctes ;
- ✓ Instancier afin de reproduire l'ensemble d'une "branche" vers une autre ontologie.

Opérationnellement, l'ontologie n'est autre qu'un réseau sémantique de concepts décrivant un domaine. Ces concepts sont reliés entre eux par des relations taxonomiques (hiérarchisation des concepts) d'une part, et sémantiques d'autre part. Ainsi un ensemble de langages a été mis en œuvre pour permettre l'implémentation des ontologies.

1.5.1 Langage standard pour les ontologies : Web Ontology Language

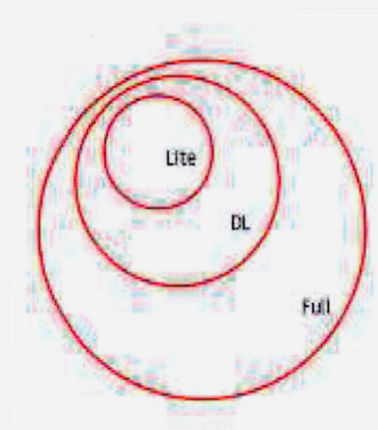
Le Web Ontology Language (OWL) est le langage standard pour représenter les ontologies, fondé sur le 'Resource Description Framework' (RDF) dont la base n'est autre que le XML et sa sémantique associée est dans tous les cas celle associée aux logiques de description (LD). Actuellement, deux versions sont disponibles pour la communauté de eLearning dont les détails dans les sections suivantes.

1.5.1.1 Web Ontology Language 1 (OWL 1)

La version 1 nommée OWL ou (OWL 1) est recommandée par le W3C depuis 2004, tandis que la version 2 nommée OWL 2 l'est depuis 2009. Elles permettent, grâce à sa sémantique formelle basée sur une fondation logique largement étudiée, de définir des associations plus complexes des ressources ainsi que les propriétés de leurs classes respectives (W3C, 2010).

OWL 1 contient trois (3) sous-langages qui se distinguent par les constructeurs qu'ils proposent : OWL Full, OWL DL et OWL Lite. Comme représenté par la figure ci-dessous OWL Full contient OWL DL et OWL Lite, tandis que OWL DL contient OWL Lite. Ils proposent trois (3) équilibres différents entre expressivité et traçabilité.

Figure 1.3 Représentation des trois (3) sous-langages de OWL 1 (Coulet, 2012)



OWL 1, du moins expressif au plus expressif, nous avons :

- ✓ OWL-Lite : Disponibilité de plusieurs algorithmes d'inférence ;
- ✓ OWL-DL : Des algorithmes d'inférence existent même si la complexité en temps est exponentielle de façon générale pour leur résolution ;
- ✓ OWL-Full : Il n'existe aucun algorithme d'inférence décidable connue à date.

1.5.1.2 Web Ontology Language 2 (OWL 2)

OWL 2, en plus de OWL 2 DL et OWL 2 Full, contient les trois (3) sous-langages suivants : OWL 2 EL, OWL 2 QL et OWL 2 RL (Coulet, 2012).

- ✓ OWL EL permet de réaliser les mécanismes classiques de raisonnement (test de satisfiabilité, test de subsumption, vérification d'instance) suivant une complexité polynomiale. Il est bien adapté pour les ontologies comportant un grand nombre de concepts et de rôles ;
- ✓ OWL 2 QL est décrit pour écrire et répondre à des requêtes conjonctives qui pourraient être portée à des SGBD relationnels. Ce sous-langage permet de réaliser les mécanismes de raisonnement standard avec une complexité polynomiale ;
- ✓ OWL 2 RL permet d'utiliser des moteurs d'inférence de base de règles pour réaliser les mécanismes de raisonnement standards.

1.5.2 Types d'ontologies

Je présente ici les types d'ontologies couramment utilisés afin de permettre au lecteur de comprendre les connaissances incluses dans chaque type d'ontologie. La classification s'inspire largement des travaux de Gómez-Pérez (Gómez-Pérez, 1999).

1.5.2.1 Les ontologies de représentation des connaissances

Ce type regroupe les primitives de représentation utilisées afin de formaliser les connaissances selon des paradigmes de représentation des connaissances.

1.5.2.2 Les ontologies générales/communes

Ces ontologies incluent le vocabulaire lié aux objets, aux événements, au temps, à l'espace, à la causalité, au comportement, à la fonction, etc.

1.5.2.3 Les méta-ontologies

Ces ontologies sont aussi appelées ontologies génériques ou noyaux d'ontologies sont réutilisables dans différents domaines.

1.5.2.4 Les ontologies de domaine

Elles sont réutilisables dans un domaine donné. Elles fournissent le vocabulaire des concepts d'un domaine.

1.5.2.5 Les ontologies de tâches

Elles fournissent un vocabulaire systématisé des termes utilisés pour résoudre les problèmes associés à des tâches qui peuvent appartenir ou non à un même domaine. Ces ontologies fournissent un ensemble de termes au moyen desquels on peut décrire au niveau générique comment résoudre un type de problème. Elles incluent des noms génériques (par ex., plan, objectif, contrainte), des verbes génériques (par ex., assigner, classer, sélectionner), des adjectifs génériques (par ex., assigné) et d'autres mots qui relèvent de l'établissement d'échéances.

1.5.2.6 Les ontologies de domaine-tâche

Elles sont des ontologies de tâches réutilisables dans un domaine donné, mais pas dans différents domaines. Par exemple, une ontologie domaine tâche dans le domaine médical pourrait inclure les termes liés au timing d'une intervention chirurgicale : planifier – intervention chirurgicale.

1.5.2.7 Les ontologies d'application

Ce sont des ontologies qui contiennent suffisamment de connaissances pour structurer un domaine particulier.

1.5.2.8 Les ontologies d'index ou de structure

Les ontologies de structure servent à indexer les composants structurels des documents sources tels que les paragraphes, les phrases, les tables, les figures, etc.

1.5.2.9 Les ontologies des rôles pédagogiques

Les ontologies des rôles pédagogiques définissent un ensemble de rôles pédagogiques que l'on retrouve souvent dans les objets d'apprentissage : définition, explication, exemple, introduction, description, conclusion, etc. Ces ontologies servent à définir la fonction pédagogique d'une ressource d'apprentissage ou d'une portion de cette ressource. Ces fonctions, par ailleurs largement utilisées en éducation, sont utiles pour les concepteurs de cours mais aussi pour les apprenants. Elles permettent des recherches plus ciblées et favorisent donc une plus grande réutilisation (Cardinaels, Meire et Duval, 2005 ; Jovanović *et al.*, 2007 ; Verbert *et al.*, 2006). Elles évitent le syndrome du copier-coller, qui conduit à la duplication de la même connaissance (Verbert *et al.*, 2006) et donc à des difficultés de mise à jour. Les concepteurs de cours bénéficient de cette ontologie qui leur prodigue un moyen de construire des cours plus rapidement et plus facilement. Par ailleurs, dans le cadre d'une approche basée sur les compétences, cette approche permet une indexation plus fine des ressources d'apprentissage et donc un moyen plus flexible pour combler les écarts de compétences d'un apprenant.

Ces ontologies sont donc cruciales dans un processus d'agrégation (manuel ou automatique) de ressources d'apprentissage à même de combler un besoin précis (via des services Web, des applications *stand-alone*). Avec l'augmentation de l'utilisation des services Web dans le cadre du Web sémantique, une telle ontologie peut

également jouer un rôle dans la composition adéquate de services par exemple (Cardinaels, Meire et Duval, 2005 ; Jovanović *et al.*, 2007).

1.6 Interrelation entre le eLearning, le web sémantique et Les ontologies

En se basant sur la définition du eLearning précédemment mentionnée, il n'est autre qu'un apprentissage en ligne, dont la base est la mise en Web de toutes sortes de ressources pédagogiques : transparents (dans des formats tels que PowerPoint), cours électroniques (correspondant aux «polycopiés»), bibliographie de documents auxquels ces cours font référence, exercices, et dépendamment du contexte, ces ressources sont disponibles publiquement ou réservées à une communauté (entreprise, organisme de formation, académie, etc.).

Mais malheureusement la plus part des informations sont difficilement accessible avec une probabilité très faible d'obtenir celles pertinentes. Il devient alors primordial de mettre les techniques qui permettent d'indexer, d'analyser, de composer, de mémoriser et de rechercher de telles informations. D'où l'apparition d'une nouvelle technique nommée Web sémantique.

Tel que mentionné précédemment, le Web sémantique est un ajout au Web classique dont les objectifs sont d'augmenter le niveau de compréhension des humains sur les ressources disponibles sur le Web actuel, mais aussi interprétables par des machines. L'approche la plus utilisée pour bâtir le Web sémantique, consiste à décrire ces ressources à l'aide de métadonnées, ou annotations sémantiques, en utilisant le vocabulaire conceptuel fourni par une ontologie. Plusieurs standards pour les métadonnées ont été proposés à cet effet. J'y reviendrai dans les prochaines sections.

Une des forces du Web sémantique est de munir les langages du Web d'une sémantique formelle à l'aide d'une interprétation basée sur un modèle bien défini. Elle permet une caractérisation précise des opérations applicables et par exemple de

pouvoir affirmer la correction des algorithmes comme des algorithmes de recherche (Laublet, Reynaud et Charlet, 2002).

Dès lors, nous nous rendons compte que le eLearning propose des modèles conceptuels, mais pas de formalismes de représentation. C'est dans cette perspective de standardisation et de formalismes de représentation que le Web sémantique joue un atout majeur.

Après avoir lu les paragraphes précédents, vous vous posez la question à savoir qu'elle est le rôle joué par les ontologies dans tout ça. Et bien détrompez-vous, la section suivante répond à cette question.

Il est évident que l'apprentissage en ligne, bien que virtuel, fait appel à plusieurs acteurs selon leurs expériences passées, leur formation et leurs besoins. Ces acteurs bien que traitant les mêmes sujets peuvent avoir des points de vue très différents ou peuvent utiliser des jargons différents et reposer sur des concepts, des schémas et des méthodes qui, dans le meilleur des cas, peuvent se recouvrir ou, dans le pire des cas, sont incompatibles. Ce manque de compréhension partagée nuit à la communication, l'interopérabilité et la réutilisabilité. Or l'une des idées principales de l'apprentissage en ligne est de favoriser l'accès aux ressources d'apprentissages partagées.

Il devient urgent, dès lors, d'implanter une solution logicielle dans l'unique souci de réduire, voire éliminer, les confusions conceptuelle et terminologique, et tendre vers une compréhension partagée.

Le développement et l'implantation d'une représentation explicite d'une compréhension partagée dans un domaine donné, peut améliorer la communication, qui à son tour permet une plus grande réutilisation, un partage plus large et une interopérabilité plus étendue (Abel *et al.*, 2004).

L'ontologie représente ce cadre unificateur et fournit des primitives descriptives et structurantes pour les échanges. D'autre part, dans une problématique de recherche d'information, reposer sur le vocabulaire conceptuel commun défini dans une ontologie peut aider à améliorer la précision de cette recherche d'information, en évitant des ambiguïtés au niveau terminologique et en autorisant des inférences diminuant le bruit et augmentant le rappel des moteurs de recherche.

Si le Web sémantique est un complément direct (un plus) du Web actuel qui sert de base à eLearning, l'ontologie, quant elle, est un complément direct du Web sémantique et indirect du eLearning.

Les ontologies viennent renforcer les fondations du eLearning et du Web sémantique qui sont entre autres:

- ✓ L'échange de connaissances ;
- ✓ La conception et la maintenance de mémoires : indexation du matériel pédagogique, requêtes sur le matériel, etc. ;
- ✓ La connaissance du monde de l'enseignement : descriptions des acteurs et de leurs rôles, des situations, des processus, des flots de documents, etc. ;
- ✓ La réutilisation, partage et interopérabilité étendue.

1.7 Les paradigmes des théories pédagogiques

Trois (3) grands paradigmes ont marqué l'évolution des théories pédagogiques : le behaviorisme, le cognitivisme, et le constructivisme (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Driscoll, 2005 ; Mergel, 1998). Sans élaborer sur l'historique et les détails de ces approches, nous nous limiterons à leurs différences fondamentales.

1.7.1 Le behaviorisme

Cette approche s'accroît sur les comportements observables des individus tout en ignorant toute influence dans l'apprentissage émanant des processus mentaux

internes. Ce paradigme parle d'apprentissage que si et seulement si l'apprenant donne une réponse correcte à un stimulus donné. Le concept fondamental du béhaviorisme est illustré par la relation S-R (Stimulus → Réponse), qui veut dire une réponse directe de l'organisme à un stimulus provenant du milieu dans lequel il est.

L'exposé magistral et la pratique répétée sont des méthodes pédagogiques utilisées pour atteindre l'objectif. Chaque bonne réponse est soutenue par une récompense verbale (exemple : félicitation), ou non verbale (exemple : argent scolaire, devoirs, prix, etc.) tandis qu'une mauvaise réponse est souvent accompagnée d'une punition (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Driscoll, 2005 ; Mergel, 1998).

Selon le béhaviorisme, la préparation de l'enseignement se fait en construisant les objectifs d'apprentissage à atteindre de manière très précise et en termes de comportements observables, puis en décomposant le contenu en petites unités logiques d'apprentissage, avec une séquence précise d'apprentissage. Les apprentissages visés dans un enseignement de type béhavioriste sont souvent de l'ordre de la mémorisation et du rappel de faits, de la définition et de l'illustration de concepts, ou encore de l'application et de l'exécution automatique de procédures (Basque, Rocheleau et Winer, 1998). L'évaluation des apprentissages se fait généralement au moyen d'examens, souvent à caractère objectif : l'élève doit simplement démontrer qu'il connaît la « bonne réponse ». L'enseignant prend toute la responsabilité de l'atteinte des objectifs d'apprentissage; c'est à lui de créer des conditions environnementales et un système de renforcements qui vont amener l'élève à adopter de nouveaux comportements. Typiquement, l'élève est décrit comme une sorte de réceptacle, dans lequel l'enseignant déverse des informations provenant d'une réalité externe objective (Basque, Rocheleau et Winer, 1998).

Ce paradigme est orienté-enseignement qu'apprentissage, donc guidé par les résultats observables de l'enseignement plutôt qu'au processus d'apprentissage.

1.7.2 Le cognitivisme

Contrairement au béhaviorisme, les processus internes mentaux occupent une place primordiale dans le cognitivisme. Ce paradigme considère un apprenant comme un ordinateur, un système actif de traitement de l'information (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Driscoll, 2005 ; Mergel, 1998): il perçoit des informations qui lui proviennent de l'extérieur, les reconnaît, les emmagasine en mémoire, puis les récupère de celle-ci lorsqu'il en a besoin pour résoudre des problèmes ou comprendre son entourage. Les adeptes de cette approche considèrent le système humain de traitement de l'information est composé (Basque, Rocheleau et Winer, 1998):

- ✓ Système d'enregistrement sensoriel. L'élève reçoit des stimuli visuels, auditifs, tactiles, olfactifs, etc. provenant de l'environnement. Des processus complexes de reconnaissance de formes et de filtration de l'information (puisque'il y a des limites à ce qu'un individu peut percevoir à la fois) sont mis en œuvre;
- ✓ Mémoire à court terme. L'information perçue est transférée dans une mémoire à court terme, qui a une durée et une capacité très limitée (7 plus ou moins 2 informations ou « groupements d'informations » peuvent y être maintenus à la fois, pendant quelques secondes);
- ✓ Mémoire à long terme. L'information est ensuite emmagasinée dans cette mémoire permanente et de capacité illimitée. Des processus de récupération de l'information lui permettront par la suite de retrouver des informations dans cette « base de connaissances ».

Le point commun entre le béhaviorisme et le cognitivisme est l'existence de réalité objective externe, sauf que dans le cognitivisme, l'apprenant doit intégrer cette réalité à ses propres schémas mentaux, d'où un changement dans les structures mentales de l'apprenant qui caractérise l'apprentissage.

Selon le cognitivisme, la préparation de l'enseignement met de l'avant l'importance d'un engagement mental actif des apprenants durant l'apprentissage dans le souci de

traiter profondément les informations. Ce paradigme encourage l'utilisation des stratégies qui aideront l'apprenant à (Basque, Rocheleau et Winer, 1998):

- ✓ Sélectionner et encoder l'information lui provenant de l'environnement, par exemple, en l'encourageant à utiliser le soulignement pour identifier les idées importantes dans un texte, en lui enseignant des stratégies mnémoniques ou des stratégies d'élaboration, en lui présentant des schémas organisateurs au moment d'aborder un nouveau contenu, en l'aidant à faire des liens avec ses connaissances antérieures, en lui présentant un nouveau contenu dans de multiples contextes, etc.;
- ✓ Organiser et intégrer cette information (par exemple, en lui présentant des cartes cognitives, en l'encourageant à prendre des notes, en l'aidant à se former des images mentales significatives, en lui demandant de produire des résumés, en suscitant un auto-questionnement, etc.) ;
- ✓ Recouvrer des informations de sa mémoire à long terme en lui fournissant, par exemple, divers indices.

1.7.3 Le constructivisme

Tout comme le cognitivisme, le constructivisme reconnaît l'activité mentale comme pièce centrale dans l'apprentissage. Seuls les principes philosophiques font la différence entre les deux (2) approches. L'existence d'une réalité externe objective ne fait aucun doute pour les paradigmes comportementisme et cognitivisme, par contre le constructivisme nie cette réalité externe (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Driscoll, 2005 ; Mergel, 1998).

Pour le constructivisme, la réalité n'existe que dans la tête des individus. L'apprentissage est donc un processus actif de construction de cette réalité. La réalité est construite par chaque individu, qui lui donne une signification unique à partir de ses propres expériences. L'apprenant ne transfère ou n'intègre pas simplement le savoir provenant du monde externe dans sa mémoire; plutôt, il construit ses propres

interprétations du monde à partir de ses interactions avec celui-ci (Basque, Rocheleau et Winer, 1998). Les connaissances n'existent pas en soi en tant que vérités absolues; ce sont simplement des consensus sociaux à un moment donné du contexte sociohistorique.

Pour ce paradigme, l'apprentissage Ce paradigme encourage l'utilisation des stratégies pour : supporter l'apprenant, lui poser des questions, stimuler sa curiosité, mettre ses conceptions à l'épreuve, le guider au besoin, l'orienter non pas vers des buts d'enseignement définis à l'avance mais vers l'élaboration d'une interprétation personnelle des choses. Une vision constructiviste de l'éducation valorise donc une pédagogie active et non directive et donne priorité à des aspects tels qu'un contexte réel d'apprentissage, un enseignement-soutien plutôt qu'un enseignement-intervention, la découverte guidée, l'encouragement à explorer divers points de vue sur un thème, l'apprentissage collaboratif, une approche par projet, etc. (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Driscoll, 2005 ; Mergel, 1998).

1.7.4 En résumé

D'une part, nous élaborons ici sur les forces et faiblesses perçues de l'utilisation de certaines approches dans la conception pédagogique ; et d'autre part, nous présentons un tableau qui résume les tendances des trois (3) paradigmes en répondant aux questions :

- ✓ Qu'est-ce que l'apprentissage?
- ✓ Qu'est-ce qu'un apprenant?
- ✓ Quel est le rôle de l'enseignant?
- ✓ Qu'est-ce qu'une « connaissance »?
- ✓ Quelle méthode d'enseignement devrait-on privilégier?
- ✓ Quels outils informatiques l'enseignant favorise-t-il?

Béhaviorisme, basé sur le stimulus / réponse, comme faiblesse, l'apprenant peut se trouver dans une situation où le stimulus pour la réponse correcte ne se produit pas, par conséquent l'apprenant ne peut pas répondre. Tandis que la force de ce paradigme est que l'apprenant se concentre sur un seul objectif et peut répondre automatiquement aux signaux de cet objectif.

Cognitivisme, considérant l'apprenant comme un processeur d'information, sa faiblesse est que l'apprenant apprend une seule façon d'accomplir une tâche qui peut ne pas être la meilleure façon lorsque l'apprenant change de situation. Par exemple, la connexion à l'internet peut être différente d'un ordinateur à un autre. Tandis que la force de ce paradigme est que son objectif principal est de former les apprenants à accomplir une tâche de la même manière afin d'assurer la cohérence.

Constructivisme, considérant l'apprenant comme un constructeur d'information, sa faiblesse est que dans une situation où la conformité est essentielle, laisser chaque apprenant faire à sa façon ne sera pas idéale. Sa force est que l'apprenant est capable d'interpréter des réalités multiples, l'apprenant est mieux en mesure de faire face à des situations réelles. Si un apprenant peut résoudre des problèmes, il peut mieux appliquer leurs connaissances / expériences à des nouvelles situations.

Ci-dessous un tableau qui résume les tendances des trois (3) paradigmes.

Tableau 1.1 Tableau comparatif des trois (3) principaux paradigmes des théories pédagogiques (Basque, Rocheleau et Winer, 1998)

	Béhaviorisme	Cognitivisme	Constructivisme
Définition de l'apprentissage	Un changement dans les comportements observables	Un changement dans les structures mentales	Une activité de construction par l'individu dans un contexte social
Définition de l'apprenant	Un organisme passif : un réceptacle	Un organisme actif : un processeur d'information	Un organisme proactif : un constructeur de connaissances, un décideur
Rôle de l'enseignant	Un transmetteur d'informations	Un facilitateur	Un guide et un provocateur
Statut des connaissances	Une réalité externe objective que l'apprenant doit acquérir	Une réalité externe objective que l'apprenant doit intégrer à ses schémas mentaux	Une réalité construite par chacun
Méthode d'enseignement	L'exposé, la pratique répétée et le renforcement	Un enseignement individualisé, interactif et stratégique	Un enseignement-soutien
Exemples d'outils informatiques favorisés	Exerciceurs Tutoriels Exposés informatisés	Tutoriels intelligents Simulations	Micromondes Logiciels-outils utilisés dans le cadre de projets Hypermédiâs pour explorer et construire ses connaissances Outils de communication

CHAPITRE II

COMPOSITION AUTOMATIQUE DES OBJETS D'APPRENTISSAGE : ÉTAT DE L'ART

Comme mentionné précédemment dans la section "Problématique et objectifs", les difficultés, liées à l'acquisition des connaissances du domaine qui se repose principalement sur les experts humains du domaine et sur un processus éternel d'explication de leurs connaissances, ont conduit à l'émergence du processus de composition automatique (ou du moins semi-automatique) des objets d'apprentissage ou pédagogiques, dont l'idée générale consiste à découper des documents électroniques en unités structurelles, fonctionnelles et sémantiques qui sont ensuite annotées avec les métadonnées sur leurs contenus sémantiques, leurs caractéristiques pédagogiques et leurs interrelations. Ces unités sont nommées objets d'apprentissage ou objets pédagogiques dédiés à l'apprentissage ou réutilisés pour la composition d'autres ressources pédagogiques (Abel *et al.*, 2004 ; Hayashi, Bourdeau et Mizoguchi, 2009 ; Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c).

Ainsi, un objet d'apprentissage ou objet pédagogique est une unité de connaissances intégrée, reliée à une discipline ou à un sujet (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007b). Il peut donc être considéré comme une source de connaissance fiable sur le sujet traité.

2.1 Enjeux & défis

En lisant les différents articles sur les standards, modèles, projets existants, nous avons remarqué une récurrence d'un certain nombre d'enjeux et défis communs liés à la composition manuelle ou automatique des objets d'apprentissage. Ces défis sont importants pour permettre une bonne réutilisation des objets d'apprentissage à l'échelle mondiale (Duval et Hodgins, 2003). Ci-dessous quelques uns de ces défis.

2.1.1 Granularité d'un objet d'apprentissage

Sachant que la réutilisation est une caractéristique très importante au niveau des objets d'apprentissage, il existe une relation inversement réciproque entre la taille d'un objet d'apprentissage et son réutilisation (Wiley, 2001). Plus la taille d'un objet d'apprentissage diminue, son potentiel de réutilisation augmente. Ainsi les plus petites unités ou les plus petits composants d'objets d'apprentissage (comme images, définitions, ou exercices) ont un grand potentiel d'être assemblés dans des nouveaux objets d'apprentissage par rapport à un cours complet qui est souvent très couplé au domaine d'apprentissage.

Donc, il devient évident que le facteur taille occupe une place clé dans le succès de la réutilisation d'un objet d'apprentissage. Même si dans le monde de l'apprentissage en ligne, il n'y a pas une entente claire (voir une norme bien définie) autour de la taille d'un objet d'apprentissage, plusieurs standards comme LOM, SCORM ont mis un accent sur la granularité des objets d'apprentissage en définissant plusieurs niveaux de granularité du plus petit (image, mot ou phrase) au plus grand (cours complet). Plus de détails seront donnés dans les chapitres à venir.

2.1.2 Structure d'un objet d'apprentissage

Un des principes importants dans le monde de la composition des objets d'apprentissage est la bonne séparation entre le contenu, la structure et la présentation d'un objet d'apprentissage. Une telle séparation a besoin d'une définition sans

ambiguïté de la structure de l'objet afin d'obtenir un paquetage cohérent des objets d'apprentissage. Les aspects structurels des objets d'apprentissage sont traités par des standards / spécifications tels que : "IMS Content Packaging", "Metadata Encoding and Transmission Standard (METS)", "Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL)", ou "OpenDocument" (Verbert, 2008).

2.1.3 Objet d'apprentissage : Composition et décomposition

Comme nous l'avons mentionné précédemment, toutes les communautés du domaine sont d'accord que les objets d'apprentissage de petite taille sont facilement réutilisables. En règle générale, La réutilisation est assimilée à l'action de copie – collé (Verbert, 2008). Une telle approche est possible dans n'importe quel outil de création ou de composition, mais elle est limitée de plusieurs façons :

- ✓ L'action copie – collé est non évolutive du point de vue de maintenance, car chaque objet copié et collé devient une nouvelle place à maintenir ;
- ✓ Le caractère monotone et répétitif d'une telle approche est source de propagation d'une erreur d'une place à une autre et d'une consommation du temps.

La réutilisation par copie-collé, bien qu'elle permet à un accès direct en temps réel, ne permet pas une composition automatique des objets d'apprentissage. L'idée principale est de faire la composition des objets d'apprentissage en les sélectionnant à partir de la base de données. Ces mêmes objets de la base de données peuvent être réutilisés dans une nouvelle composition (Duval et Hodgins, 2003). Une telle composition peut être décomposée facilement et automatiquement par reverse ingénierie et les composants d'objets d'apprentissage obtenus peuvent être utilisés à d'autres fins.

2.1.4 Objet d'apprentissage : Interopérabilité

Les problèmes d'interopérabilité sont extrêmement importants afin de permettre la réutilisation. Les travaux de standardisation / normalisation mettent l'accent sur l'interopérabilité entre les objets d'apprentissage et des systèmes de gestion de l'apprentissage d'une part, et d'autre part l'interopérabilité entre les dépôts d'objets d'apprentissage. L'interopérabilité entre les objets d'apprentissage est un aspect quelque peu négligé (Duval et Hodgins, 2003). Pour garantir ce type d'interopérabilité, il faut que :

- ✓ Les contenus des objets de différentes sources d'outils de création continuent à répondre à leurs besoins même quand ils sont assemblés dans un autre objet d'apprentissage ;
- ✓ Les objets d'apprentissage sont capables de fonctionner proprement même quand ils sont déplacés entre systèmes utilisant des spécifications différentes.

Pour les objets d'apprentissage, l'interopérabilité doit être appliquée à plusieurs niveaux qui sont : contenu, structure et format de stockage / d'affichage.

Dans le cadre de ce travail, nous nous assurerons que notre modèle prend en compte la granularité, une définition claire de la structure des objets d'apprentissage, leur interopérabilité et leur source de provenance (base de données ou répertoire d'objets d'apprentissage).

Après cette parenthèse sur les enjeux / défis de l'automatisation de la composition des objets d'apprentissage, dans les paragraphes suivants, j'expliquerai les forces et les faiblesses de quelques modèles/standards de composition automatique des objets d'apprentissage :

- ✓ Sans les ontologies (standards / modèles) ;
- ✓ Avec les ontologies.

2.2 Composition automatique des objets d'apprentissage non fondée sur les ontologies

La composition automatique des objets d'apprentissage est un sujet très intéressant, ouvert et qui a été l'objet de plusieurs recherches et qui continue à l'être dans le domaine de l'apprentissage en ligne. Dans cette section, dans la 1^{ère} partie, nous ferons une analyse des approches existantes. Tandis que, dans la 2^e partie, nous expliquerons les modèles et standards suivants qui ont fait leur apparition pour répondre à ce besoin :

- ✓ Dublin Core ;
- ✓ LOM (Learning Object Metadata) ;
- ✓ MLR (Metadata for Learning Resources) ;
- ✓ SCORM (Sharable Content Object Reference Model) ;
- ✓ NETg (National Education Training Group) Learning Object Model;
- ✓ Learnativity Content Model ;
- ✓ NCOM (Navy Content Model) ;
- ✓ Cisco RLO / RIO Model ;
- ✓ dLCMS (dynamic Learning Content Managemen System) Component Model ;
- ✓ New Economy Didactical Model ;
- ✓ SLM (Semantic Learning Model);
- ✓ PaKMaS ;
- ✓ EML(Educational Modelling Language) ;
- ✓ IMS-LD (Instructional Management System Learning Design).

Plus de détails seront mis sur les standards / modèles très connus. Une synthèse, largement inspirée des travaux de (Pernin, 2003a, 2003b ; Pernin et Lejeune, 2004b, 2004a ; Verbert, 2008) nous permettra aussi de dégager les points forts et faibles de chaque modèle.

2.2.1 Analyse des approches existantes

Ces dernières années ont été marquées par deux grands courants dans la rationalisation du déploiement des TIC dans l'apprentissage. Le premier préconise une approche d'ingénierie pédagogique centrée sur les processus alors que le second propose un paradigme "documentaliste" fondé sur l'indexation et l'agrégation d'objets d'apprentissage. Ces deux approches se sont récemment intéressées à compléter leur démarche en intégrant les avancées proposées dans le domaine de la modélisation pédagogique (Pernin et Lejeune, 2004a).

2.2.1.1 L'Approche Centrée Processus : le courant Ingénierie Pédagogique

Issue des travaux de l'*Instructional Design* développés par des auteurs tels que Gagné (Gagne et Briggs, 1992) et Merrill (Merrill, 1983), l'approche centrée sur les processus s'intéresse à définir des méthodes d'ingénierie pédagogique capables d'assurer la mise en place des ressources et des moyens pédagogiques facilitant la conception et la mise en place de formations (Pernin et Lejeune, 2004a). Selon Paquette (Paquette, 2002 ; Paquette, 2004), l'ingénierie pédagogique doit être vue comme une méthodologie soutenant l'analyse, la conception, la réalisation et la planification de l'utilisation des systèmes d'apprentissage, intégrant les concepts, les processus et les principes du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie cognitive.

2.2.1.2 L'Approche Centrée Contenu : le courant Documentaliste

La seconde approche "documentaliste" est directement liée à l'accroissement des possibilités offertes par Internet pour accéder à des grandes masses d'informations, notamment de nature pédagogique. Elle met en avant les avantages de l'approche par objets en informatique pour promouvoir de nouveaux usages fondés sur les principes de "partage et réutilisation" et d'"agrégation" (Pernin et Lejeune, 2004a). Les travaux de standardisation menés dans le domaine ont abouti à la spécification LOM (Hodgins et Duval, 2002) qui définit un jeu de métadonnées permettant l'indexation

des objets d'apprentissage en vue de leur catalogage, leur réutilisation et propose un modèle d'agrégation successive d'objets allant depuis des documents élémentaires (une image par exemple) jusqu'à des entités de très haut niveau (un curriculum).

Déjà largement utilisé au sein de communautés d'échange de contenus éducatifs, LOM soulève aujourd'hui deux principales questions, liées à la définition même d'objet d'apprentissage et à l'utilisation des descripteurs de nature pédagogique dans des contextes effectifs d'indexation ou de recherche.

2.2.1.3 L'Approche centrée sur les Langages de Modélisation Pédagogique

Un nouveau courant s'est intéressé à la modélisation pédagogique pour mieux répondre à l'intégration effective des technologies dans la formation : Koper (Koper, 2001 ; Pernin et Lejeune, 2004a) propose un point de vue qui se démarque radicalement de l'approche documentaliste en affirmant que ce ne sont pas les objets de connaissance qui constituent la clé de la réussite d'un environnement d'apprentissage, mais les activités qui y sont associées. Se reposant sur un méta-modèle conceptuel, il propose de décrire les situations d'apprentissage à l'aide de langages de modélisation pédagogique permettant de définir les relations entre les objectifs en termes de connaissance ou d'habiletés, les acteurs de l'apprentissage, les activités réalisées ainsi que l'environnement et les contenus nécessaires à la mise en place de la situation d'apprentissage. Ces travaux se sont concrétisés par la spécification d'un premier langage, EML (Educational Modelling Language) qui a largement inspiré dès 2002 la spécification IMS Learning Design (Consortium, 2003). IMS LD propose un cadre permettant de prendre en compte la diversité des approches pédagogiques tout en assurant l'échange et l'interopérabilité des matériaux et des unités d'apprentissage les mettant en scène.

2.2.2 Standards & Modèles

2.2.2.1 Dublin Core

¹Le Dublin Core Metadata Initiative est une organisation dédiée à la promotion et l'adoption de standards de métadonnées interopérables, ainsi qu'au développement d'un vocabulaire de métadonnées pour décrire les ressources dans un environnement Web. Le Dublin Core peut également être considéré comme un sous-ensemble d'éléments descriptifs permettant l'échange entre des formats hétérogènes plus complexes.

Dans le cadre général de la technique des métadonnées, l'initiative Dublin Core est un travail de normalisation internationale pour la définition des éléments de données bibliographiques à inclure dans les pages Web dont la liste de base des éléments a été arrêtée en décembre 1996 (Lupovici, 1998).

2.2.2.1.1 Dublin Core : Les éléments de données définis

Les éléments de données du Dublin Core sont le résultat d'un consensus sur une description minimale des ressources électroniques à inclure dans la création des pages Web pour permettre la recherche de ces ressources. Les principaux éléments dans la version simple est limitée à 15 (Lupovici, 1998).

- ✓ Métadonnées relatives au contenu : le titre, le sujet et le mot-clé (topique de la ressource), la description (une description textuelle du contenu de la ressource), la source (une autre ressource à partir de laquelle la ressource est dérivée), le langage, la relation (liens vers d'autres ressources), la couverture (caractéristiques spatiales et temporelles du contenu intellectuel de la ressource) ;

¹ <http://dublincore.org>

- ✓ Métadonnées relatives à la propriété intellectuelle : l'auteur ou le créateur (responsabilité principale du contenu intellectuel), éditeur (entité responsable de la mise à disposition de la ressource dans sa forme actuelle), un autre contributeur (personne ou organisme qui a fourni une contribution intellectuelle importante à la réalisation de la ressource), la gestion des droits (lien vers une mention de gestion des droits ou un service donnant ce type d'information) ;
- ✓ Métadonnées relatives à l'instance documentaire : la date, le type de ressource (catégorie de la ressource, par exemple page d'accueil, poésie, document de travail), le format des données (logiciel et matériel nécessaires pour utiliser la ressource), l'identifiant de la ressource (une chaîne de caractères ou numéro utilisé pour identifier de manière unique la ressource, exemple : URL, URN, ISBN, etc.).

2.2.2.1.2 Dublin Core : Forces et faiblesses

Les métadonnées de Dublin Core peuvent être utilisées dans un environnement Web pour la description des ressources, ces données sont utilisées automatiquement par les moteurs de recherche et permettent d'obtenir des systèmes plus performants de recherche d'information.

Cependant, les utilisateurs d'un schéma de métadonnées tel que le Dublin Core, s'ils sont à peu près tous d'accord sur ce que signifie *Titre*, ne le sont pas forcément en ce qui concerne le *Sujet* ou le *Type* d'un document. Il pourra donc y avoir des ambiguïtés sur le rôle et le sens de ces champs.

2.2.2.2 LOM (Learning Object Metadata)

Un objet d'apprentissage peut être défini comme "toute entité numérique ou non, qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée lors d'une formation dispensée à partir d'un

support technologique" selon le groupe de travail IEEE-LTSC² (Pernin, 2003a). Cette définition permet de considérer comme objet d'apprentissage un document imprimé, un cours, un exercice, une étude de cas, une présentation, mais également une salle de cours, un rétroprojecteur, etc. Du fait de son extraordinaire ouverture, cette définition peut nous amener à nous poser une autre question : dans un processus de formation dispensée avec des outils technologiques, qu'est-ce qui n'est pas un objet d'apprentissage ?

Une idée sous-jacente à ces définitions réside dans le fait qu'un objet d'apprentissage peut être utilisé de façon indépendante d'un contexte précis et qu'il peut être également réutilisé. Cette réutilisation sera rendue possible par une description normalisée à l'aide d'un vocabulaire prédéfini.

Depuis 1996, les efforts entrepris par des consortiums comme ARIADNE ou IMS, se sont orientés vers la description d'objets pédagogiques à l'aide de métadonnées. Ces travaux, basés en partie sur la description normalisée de documents proposée par le Dublin Core³, ont abouti en une proposition adoptée en 2002 par le LTSC de l'IEEE. La norme "Learning Object Metadata" actuelle (Hodgins et Duval, 2002) propose 45 éléments descriptifs de premier niveau regroupés en 9 catégories :

² *IEEE Learning Technology Standards Committee*

³ <http://dublincore.org/>

Tableau 2.1 Les catégories de LOM et leur nombre d'éléments

Nom de la catégorie	Nombre d'éléments par catégorie
Généralités	8
Cycle de vie	3
Méta-métadonnées	4
Informations techniques	7
Informations pédagogiques	11
Droits	3
Relations	2
Commentaires	3
Classification	4

2.2.2.2.1 LOM : Les aspects pertinents dans la composition des objets d'apprentissage

Sans décrire toutes ces catégories, je mettrai l'accent sur les suivantes qui peuvent nous orienter sur l'approche prônée par ce standard dans la composition des objets d'apprentissage : *Généralités*, *Informations techniques*, *Informations pédagogiques*, et *Relations*. La figure suivante donne la description de celles-ci.

Tableau 2.2 Description des éléments du LOM permettant de mieux définir la nature d'un objet d'apprentissage (Pernin, 2003a)

Catégorie	élément	Valeurs possibles
Général	Niveau d'agrégation	média, leçon, cours, curriculum
	Format	type MIME
	Taille	Exprimée en kO
	Localisation	URL par exemple
	Exigences techniques	Type technologie (système d'exploitation, navigateur) Nom (PC-Dos, MS-Windows, MacOS, Unix, Netscape, Explorer...), etc.
	Durée des sons, des vidéos, des animations	
Informations techniques	Type d'interactivité	(active, présentation, mixte, indéfini)
	Type d'apprentissage	exercice, simulation, questionnaire, figure, graphe, diapositive, tableau, texte, examen, expérience, problème, autocontrôle...
	Niveau d'interactivité	très basse, basse, moyenne, haute, très haute
	Densité sémantique par rapport à la taille ou à la durée	très basse, basse, moyenne, haute, très haute
	Destinataire	enseignant, auteur, apprenant, gestionnaire
	Contexte d'utilisation	primaire, secondaire, 1er cycle universitaire, 2ème cycle, 3ème cycle, formation professionnelle, formation continue, formation technique, etc.
	Age ciblé	
	Difficulté vis-à-vis du public ciblé	très facile, facile, moyen, difficile, très difficile
	Temps moyen d'utilisation	
Relations	Nature de la relation vis-à-vis de l'autre ressource	estPartieDe, estComposéDe, estVersionDe, estBaséSur
	Ressource liée	Identifiant de la ressource, Description de la ressource, etc.

L'analyse de ces catégories permet d'établir de façon implicite un certain nombre d'hypothèses sur la vision de LOM dans la composition des objets d'apprentissage, parmi lesquelles nous pouvons retenir (Pernin, 2003a):

- ✓ **Hypothèse 1** : "*Informations Techniques*" considère principalement un objet d'apprentissage comme une *ressource a priori numérique* (un fichier d'un certain type et d'une certaine taille). Les valeurs proposées permettent difficilement de décrire des ressources non numériques (par exemple, une cassette vidéo ou un dispositif de projection);
- ✓ **Hypothèse 2** : - le "Type d'interactivité", défini à partir de deux valeurs principales (active ou expositoire), représente la position de l'apprenant durant la manipulation de la ressource : Est-il en situation de consultation d'informations ou de construction de connaissances par le biais d'une manipulation ?
- ✓ **Hypothèse 3** : Les valeurs proposées pour l'élément "Type d'apprentissage" semblent peu appropriées (exercice, simulation, questionnaire, figure, graphe, diapositive, tableau, texte, examen, expérience, problème, autocontrôle...). Peut-on établir de façon constante la relation entre la forme de la ressource (par exemple, un texte ou une diapositive) et le type d'apprentissage qu'elle induit ?
- ✓ **Hypothèse 4** : Les valeurs proposées pour les éléments "Niveau d'interactivité" et "Densité sémantique" semblent difficiles à renseigner et à exploiter. Qui va décider de déclarer une ressource "à densité sémantique très faible" et "à niveau d'interactivité très bas" ?
- ✓ **Hypothèse 5** : L'utilisation d'une ressource doit être décrite en termes de public cible, de durée moyenne d'utilisation, de difficulté. Cette définition est-elle une propriété intrinsèque de la ressource ou peut-elle être renseignée différemment selon les cas d'utilisation ?

- ✓ **Hypothèse 6** : L'élément "Relations" permet d'établir différents types de lien entre les objets qui peuvent être de granularité différente. Il est en particulier possible de décrire différents niveaux d'agrégation grâce aux relations d'appartenance ou de composition : l'élément "Niveau d'agrégation" propose quatre niveaux et peut être appliqué implicitement à deux types d'objet : une ressource numérique ou un élément de structuration pédagogique.

Tableau 2.3 Granularité des différents types d'objets dans le LOM (Pernin, 2003a)

Niveau		Appliqué à une ressource numérique	Appliqué à un élément de structuration pédagogique
4	Le plus haut niveau de granularité		Un ensemble de cours menant à un certificat
3	Une collection d'objets de niveau 2	Ex : un 'réseau' de documents html liés entre eux et accessible depuis une page d'index	Un cours
2	Une collection d'atomes	Ex : un document html intégrant quelques images	Une leçon
1	Le plus petit niveau d'agrégation	Ex : média brut	Un fragment

Si la typologie proposée peut sembler cohérente pour les ressources numériques, la terminologie utilisée pour les différents niveaux de structuration pédagogique (cours, leçon) favorise de façon implicite un type d'apprentissage centré sur les contenus.

2.2.2.2.2 LOM : Forces et faiblesses

Le LOM constitue la première tentative cohérente de classification à l'aide de métadonnées des entités mises en jeu dans un processus d'apprentissage. Initié par IMS, dont le but était la production, la gestion et la réutilisation d'éléments pédagogiques numériques et de programmes de formation basés sur l'utilisation des réseaux (Forte, Wentland Forte et Duval, 1997). De ce fait, le standard LOM souffre

d'un certain nombre d'imprécisions ou d'ambiguïtés, parmi lesquelles nous pouvons souligner :

- ✓ une certaine incohérence entre la définition générique des objets pédagogiques proposée par IEEE et les éléments permettant de les décrire (en particulier la prise en compte d'entités non numériques) ;
- ✓ la volonté d'intégrer au sein d'un même modèle des entités de niveau conceptuellement très différent : les ressources nécessaires à la mise en place d'activités pédagogiques et les activités elles-mêmes.

Dans la composition des objets d'apprentissage, il est nécessaire d'établir une typologie plus précise des différents composants prenant en compte leur niveau de granularité et les types d'apprentissage qu'ils sous-tendent.

2.2.2.3 MLR (Metadata for Learning Resources)

2.2.2.3.1 Une vue d'ensemble

Pour parler de réutilisation au niveau des ressources pédagogiques décrites par les différents profils d'un standard donné tel que LOM, il faut que les métadonnées, les décrivant, soient organisées selon un schéma interopérable avec tous les autres (Bentaieb et Arnaud, 2012 ; Bourda *et al.*, 2010). L'interopérabilité doit s'entendre au sens qu'une entité pédagogique, référencée dans un système, peut être réutilisée par un autre système possédant un schéma de métadonnées différent du premier. Le format MLR (*Metadata for Learning Resources*) mis au point par l'ISO SC36 en Janvier 2011, est un modèle de conception de schéma de métadonnées pédagogiques conceptuelles (Bourda *et al.*, 2010). Son rôle est de rendre un schéma de métadonnées interopérable avec un autre, grâce à son niveau conceptuel et générique. Pour cette raison, le MLR peut être la solution au problème d'interopérabilité entre ressources pédagogiques (Bentaieb et Arnaud, 2012 ; Bourda *et al.*, 2010).

2.2.2.3.2 MLR : Présentation des différentes parties

Le MLR est un standard qui comprend plusieurs parties dont certaines spécifient les éléments de données, tandis que d'autres spécifient les profils d'application (Bourda *et al.*, 2010). Ces parties sont :

- ✓ **Partie 1** : Charpente (*Framework ou cadre de travail*), elle définit la philosophie générale du MLR, ce qu'est un élément de données et comment le spécifier, comment définir des classes de ressources, des profils d'application. Elle ne spécifie aucun élément de données. Elle est une fondation, non seulement pour les autres parties du MLR mais aussi pour les communautés souhaitant disposer d'un cadre bien défini pour spécifier leurs profils d'application ;
- ✓ **Partie 2** : Éléments « Dublin Core » (*Dublin Core elements*) spécifie chacun des éléments de données du Dublin Core (norme ISO 15836:2009, ISO, 2009) sous forme de spécifications d'éléments de données conformément à ce qui est défini dans la partie 1 du MLR ;
- ✓ **Partie 3** : Profil d'application de base (*Basic application profile*) définit un profil d'application basé sur la partie 2. Elle ajoute quelques contraintes aux éléments de la partie 2, elle reflète les pratiques actuelles des communautés « Dublin Core » et « IEEE-LOM ». Elle pourra aussi servir d'exemple aux personnes désirant définir leur propre profil d'application ;
- ✓ **Partie 4** : Éléments techniques (*Technical elements*), cette partie contient les spécifications des éléments de données permettant de décrire des informations de type technique.
- ✓ **Partie 5** : Éléments pédagogiques (*Educational elements*), c'est la partie la plus importante en termes d'attente de description d'une ressource d'apprentissage, car elle contient les spécifications des éléments de données permettant de décrire des informations de type pédagogique.

- ✓ **Partie 6** : Éléments de disponibilité, distribution, et de propriété intellectuelle (*Availability, distribution, and intellectual property elements*). Cette partie contient les spécifications des éléments de données permettant de décrire des informations de type propriété intellectuelle.

2.2.2.3.3 MLR : Quel problème peut-il résoudre ?

Comme expliqué dans la section précédente, pour que les ressources pédagogiques décrites par les différents profils soient réutilisables par le plus de plates-formes pédagogiques, il faut que les métadonnées les décrivant soient organisées selon un schéma de métadonnées interopérable avec tous les autres (Bentaieb et Arnaud, 2012).

L'interopérabilité doit s'entendre au sens qu'une entité pédagogique, référencée dans un système, peut être réutilisée par un autre système possédant un schéma de métadonnées différent du premier. Diverses lacunes faciles ont été constatées au niveau du LOM IEEE 1484, pourtant considéré comme un schéma-pivot d'interopérabilité (Bentaieb et Arnaud, 2012 ; Bourda *et al.*, 2010). Ci-dessous quelques-unes de ces lacunes :

- ✓ L'incompatibilité entre de nombreux profils d'application basés sur le LOM (Bourda et Delestre, 2005);
- ✓ Une structure figée, sous forme d'arbre (le célèbre tableau du LOM contenant tous les éléments), bien adaptée à une implémentation en XML ou dans une base de données centralisée mais difficilement exprimable dans les langages du Web sémantique, tels que RDF ou OWL;
- ✓ Une structure plus adaptée à des entrepôts centralisés qu'au monde décentralisé qui est le nôtre aujourd'hui, bien que les ressources pédagogiques soient librement réparties sur le Web, leurs descriptions restent centralisées (Bourda *et al.*, 2010);
- ✓ le mélange des descriptions :

- De la ressource elle-même et des personnes ayant contribué à celle-ci ; ainsi si une personne contribue à 2 ressources, on aura duplication de la description de cette personne avec tous les problèmes posés par la redondance des informations. Le même problème se rencontre aussi si une même personne a contribué plusieurs fois à la même ressource avec des casquettes différentes ;
- De la ressource elle-même et de la description de cette description (catégorie méta-métadonnées du LOM).
- ✓ La gestion des vocabulaires ;
- ✓ L'ambiguïté de certains éléments (dont l'élément 5.2 Learning Resource Type qui mélange les types pédagogiques et documentaires) (Bourda *et al.*, 2010);
- ✓ Une prise en charge incomplète du cycle de vie de la ressource pédagogique et de ses métadonnées (Catteau, Vidal et Broisin, 2006);
- ✓ La difficulté de prendre en compte différents formats (PDF, html, epub, Word) pour le « même contenu pédagogique ».

La métadonnée pour les ressources d'apprentissage MLR a comme objectifs, en plus de pallier aux lacunes présentées ci-dessus, de pouvoir (Bourda *et al.*, 2010):

- ✓ Prendre en compte le multilinguisme et le multiculturalisme ;
- ✓ Permettre des extensions selon les besoins des utilisateurs (faciliter la construction de profils d'application et la gestion des vocabulaires) ;
- ✓ Être indépendant de toute mise-en-œuvre informatique et donc permettre des « implémentations » utilisant des technologies différentes : bases de données relationnelles, fichiers XML, langages du Web sémantique (RDF(S), OWL) ;
- ✓ Être compatible avec le IEEE LOM et le Dublin Core, c'est-à-dire pouvoir récupérer des descriptions reposant sur ces deux schémas et les transformer en descriptions conformes au MLR.

De notre point de vue, les objectifs précédents sont soit atteints soit pourront l'être dans les différentes parties du MLR non encore finalisées.

2.2.2.3.4 MLR : Forces et faiblesses

La nouvelle norme de description des ressources pédagogiques MLR repose sur deux standards largement adoptés que sont le « Dublin Core » et le LOM. Cette norme a pour objectifs de pallier les difficultés rencontrées jusqu'à maintenant en termes de description de ressources pédagogiques mais également de prendre en compte le multilinguisme et le multiculturalisme, de mieux répondre aux besoins des utilisateurs et d'être indépendante de toute mise en œuvre informatique (Bourda *et al.*, 2010).

La norme MLR dont la première partie a été publiée le 15 janvier 2011 et les autres sont en cours d'élaboration. La 1^{ère} mise en œuvre de la partie 1 a été faite au Québec dont le but est de définir la version 2 de Normetic⁴ comme un profil d'application du MLR (Bourda *et al.*, 2010). À l'heure actuelle, Il est prématuré de faire un véritable recul et de pouvoir faire une analyse critique du MLR, mais nous sommes persuadés que son usage mettra en évidence les progrès accomplis (Bourda *et al.*, 2010).

2.2.2.4 SCORM (Sharable Content Object Reference Model)

Le consortium ADL (Advanced Distributed Learning) issu d'une initiative du Département de Défense américain, se donne pour objectifs de (1) promouvoir l'utilisation de l'apprentissage basé sur les technologies et le web en particulier, (2) fournir un modèle de référence permettant de garantir la qualité des contenus en termes de réutilisabilité, accessibilité, pérennité, interopérabilité et (3) fournir une base solide pour des investissements dans le domaine. Une de ses principales actions

⁴ Profil québécois du LOM développé par le groupe de travail sur les normes (GTN) du Québec. Pour plus d'informations, voir soit www.normetic.org soit www.gtn-quebec.org

consiste dans l'élaboration de SCORM (Sharable Content Object Reference Model), dont la version 1.2 a été publiée en novembre 2001⁵.

SCORM se propose de mettre en application les propositions émanant d'autres organismes (IMS⁶, AICC⁷, ARIADNE⁸, IEEE-LTSC) dans le cadre spécifique de contenus de formation dispensés sur le Web. Dans cette optique, il a produit des recommandations permettant aux acteurs économiques de réaliser des mises en œuvre opérationnelles. SCORM propose deux types de recommandation :

- ✓ Le Modèle d'Agrégation de Contenu (Content Aggregation Model) fournit un guide pour l'identification des ressources de base et leur agrégation dans un contenu structuré de formation. Ce modèle prend en compte les informations du LOM ;
- ✓ L'Environnement d'exécution (Runtime Environment) fournit un guide pour l'exécution des contenus, la communication et le suivi des activités dans un environnement web. Ce modèle, qui prend en compte les fonctionnalités définies par l'AICC, permet aux développeurs de Systèmes de Gestion de Formation de disposer d'un cadre pratique pour intégrer des objets pédagogiques.

2.2.2.4.1 SCORM : Les aspects pertinents dans la composition des objets d'apprentissage

SCORM est un modèle de référence pour le partage de contenus et d'objets, pour l'assemblage des contenus web et un environnement d'apprentissage (Hernandez *et al.*, 2006). Ce modèle se propose de définir les différents types de composants

⁵ <http://www.adlnet.org/>

⁶ IMS - Instructional Management System Global Learning Consortium

⁷ Aviation Industry CBT (Computer-Based Training) Committee

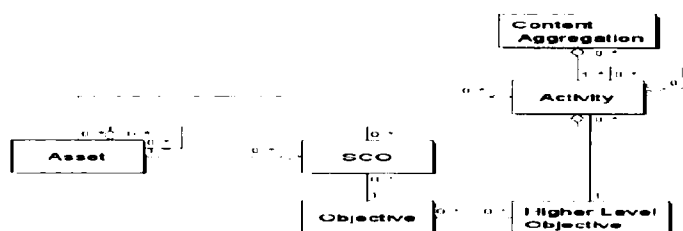
⁸ Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe

nécessaires à la mise en place d'une solution de formation à partir d'éléments réutilisables. Elle distingue trois niveaux : les ressources numériques élémentaires, les objets pédagogiques partageables et les agrégats de contenu (Hernandez *et al.*, 2006):

- ✓ La *ressource numérique élémentaire* (asset) constitue la brique élémentaire : il peut s'agir d'un document simple (image JPEG ou GIF, son WAV ou MP3, page web) mais également de tout ensemble d'informations pouvant être délivré vers un client Web (document Flash, code Javascript, applet Java, etc.);
- ✓ Un *contenu d'objet partageable* (SCO : Sharable Content Object) est un ensemble cohérent de ressources numériques élémentaires. Il peut être contrôlé depuis un Système de Gestion d'Apprentissage (SGA ou LMS en anglais) respectant de protocole d'exécution SCORM : il représente le plus bas niveau de granularité pouvant faire l'objet d'un suivi. De plus, un SCO doit être au maximum indépendant du contexte d'apprentissage afin de pouvoir être agrégé dans des unités d'apprentissage poursuivant des objectifs pédagogiques variés ;
- ✓ Un *agrégat de contenu* (Content Aggregation) est un ensemble de ressources pédagogiques structuré de façon cohérente au sein d'une entité de plus haut niveau, telle qu'un cours, un chapitre, un module, etc. Les ressources pédagogiques peuvent être aussi bien des ressources numériques élémentaires que des objets de contenu partageables. Selon SCORM, la navigation et l'enchaînement des activités doivent être décrites au sein de l'agrégat (l'unité d'instruction) et non au niveau de chaque élément agrégé, afin d'éviter des relations de dépendance trop fortes excluant toute réutilisation. Le SGA est quant à lui responsable de l'interprétation de la séquence souhaitée et de son contrôle au moment de l'exécution. Ce dernier point implique une rupture majeure vis à vis de l'usage d'applications pédagogiques intégrant les

fonctions de navigation et d'enchaînement sous un format propriétaire, excluant toute possibilité de réutilisation et de contrôle externe.

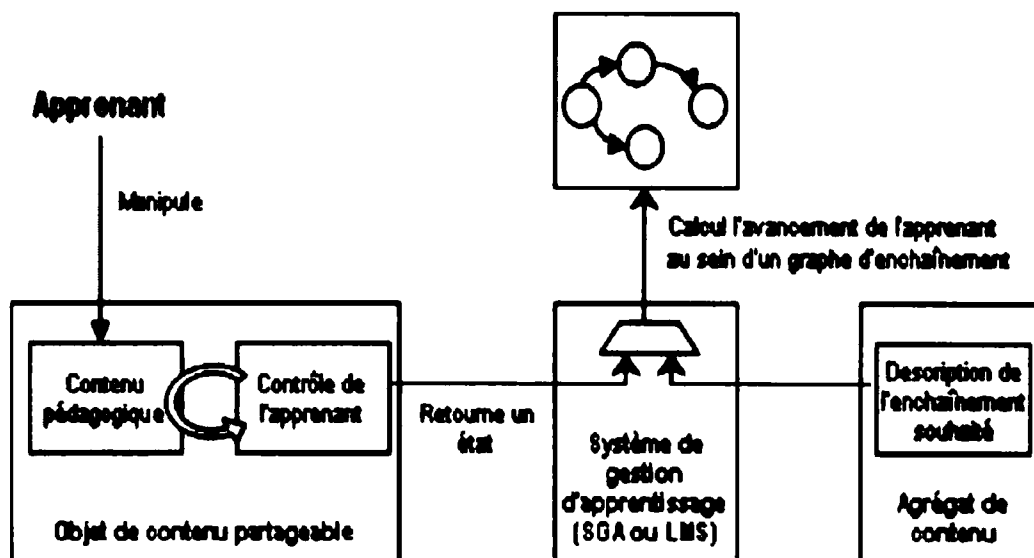
Figure 2.1 Représentation UML du modèle SCORM (Verbert, 2008)



2.2.2.4.2 SCORM : L'environnement d'exécution

SCORM fournit également un ensemble de recommandations permettant aux développeurs d'intégrer et d'exploiter les objets pédagogiques au sein d'un SGA. La figure 2.2 ci-dessous montre les principes de fonctionnement et de communication au moment de l'exécution.

Figure 2.2 Principe de fonctionnement de SCORM (Pernin, 2003a)



Le principe de fonctionnement de SCORM met l'emphasis sur (Pernin, 2003a):

- ✓ Un objet de contenu partageable est mis à la disposition de l'apprenant à travers un navigateur. Cet objet intègre le contenu pédagogique proprement dit mais également un composant de « contrôle » capable de déterminer à tout moment l'état de manipulation du contenu par l'apprenant ;
- ✓ Lors de la manipulation du contenu pédagogique, le composant de contrôle retourne au Système de Gestion d'Apprentissage l'état de la ressource. Selon SCORM, cet état peut prendre six (6) valeurs différentes (passed, completed, failed, incomplete, browsed, not attempted) ;
- ✓ L'état de la ressource fourni au SGA lui permet de calculer l'avancement de l'apprenant au sein du graphe d'enchaînement des SCO au sein d'un agrégat de contenu.

Dans ce modèle, l'accent est mis sur la bonne structuration du contenu du cours et de ses interactions avec son environnement, la transmission d'un contenu d'une plateforme vers une autre, l'importation ou l'exportation de contenus d'objets pédagogiques pour les mettre à la disposition d'autres, la représentation de la navigation entre objets d'apprentissage, la communication avec un environnement web (environnement d'exécution).

2.2.2.4.3 SCORM et les métadonnées

Pour chaque niveau de composant (ressource numérique élémentaire, objet de contenu partageable et agrégat de contenu), SCORM propose de définir un sous ensemble de métadonnées issues du LOM (Downes, 2001, 2004 ; Pernin, 2003a).

- ✓ Pour les ressources numériques, il s'agit de fournir des informations indépendantes du contexte d'utilisation pédagogique. Ces métadonnées doivent faciliter la réutilisation et la recherche de telles ressources

essentiellement durant la phase de création d'objets pédagogiques partageables, par exemple grâce à un catalogue spécialisé ;

- ✓ Pour les objets pédagogiques partageables, il s'agit de fournir des informations d'ordre pédagogique indépendamment d'un contexte particulier d'agrégation. Ces métadonnées doivent faciliter la réutilisation et la recherche de tels objets essentiellement durant la phase de création d'objets pédagogiques partageables, également grâce à un catalogue spécialisé ;
- ✓ Pour les agrégats de contenu, il s'agit de fournir des informations relatives à l'agrégation des contenus. Ces métadonnées doivent faciliter la réutilisation et la recherche de telles unités grâce, là encore, à un catalogue spécialisé;

De façon pratique, SCORM établit une table de correspondance pour chacun des niveaux, en indiquant la nature (obligatoire, optionnelle ou "en attente") de chacun des 45 éléments (et leurs sous-éléments) définis du LOM.

2.2.2.4.4 SCORM : Forces et faiblesses

Sachant les faiblesses de LOM, SCORM propose une répartition des "objets pédagogiques" en trois niveaux : les ressources numériques élémentaires, les objets de contenu partageables et les agrégats de contenu (Downes, 2001).

Le concept d'objet de contenu partageable représente une avancée certaine car il permet d'établir un pont entre les contenus des objets permettant la manipulation des connaissances et les objets de structuration pédagogique qui planifient, organisent et contrôlent l'activité de l'apprenant. En particulier, SCORM représente de façon implicite cette activité de deux manières (Downes, 2001, 2004 ; Verbert, 2008):

- ✓ En proposant de spécifier au sein des agrégats de contenu l'activité attendue grâce à un graphe d'enchaînement des manipulations d'objets de contenu ;

- ✓ En exigeant de la part de chaque objet de contenu partageable de fournir un ensemble d'informations concernant l'activité effective de l'apprenant vis-à-vis de la manipulation du contenu.

Cette dernière exigence peut avoir des conséquences importantes sur la conception et la réalisation informatique des applications pédagogiques. En effet, si l'on veut envisager sérieusement leur exploitation à grande échelle et leur réutilisation dans des conditions variées, les objets de contenu doivent obéir à des règles précises d'architecture, notamment en séparant clairement la représentation des connaissances du contrôle de l'activité de l'apprenant. Comme le souligne SCORM, cette contrainte exclut de fait la réutilisation de composants produits à l'aide de systèmes spécialisés dans la création des objets d'apprentissage intégrant étroitement et de façon figée les deux aspects sous des formats propriétaires. La mise en place d'une politique cohérente devrait donc conduire à une réingénierie complète de la production des objets de contenu.

On peut toutefois souligner certaines faiblesses du modèle proposé par SCORM (Downes, 2001, 2004 ; Verbert, 2008):

- ✓ Le concept d'activité de l'apprenant n'est pas défini de façon explicite dans le modèle. Une unité d'instruction est vue comme l'agrégation d'objets de contenus non pas comme un enchaînement d'activités. SCORM privilégie donc une approche centrée davantage sur les contenus que sur les activités ;
- ✓ SCORM définit un protocole élémentaire de suivi de l'apprenant en termes de navigation et d'évaluation. La terminologie employée (lesson) et les valeurs proposées pour le contrôle (passed, completed, failed, incomplete, browsed, not attempted) favorisent de façon implicite un certain type d'apprentissage fondé sur la consultation de ressources et la vérification de connaissances ou compétences à l'aide de tests. Aucune place n'est réservée à des démarches d'apprentissage plus constructivistes, à des modalités de suivi et d'évaluation

prenant en compte les échanges entre apprenants, leurs productions ou la nature de leurs manipulations ;

- ✓ Le premier niveau d'objets pédagogiques de SCORM, celui des ressources numériques élémentaires (assets), est défini essentiellement par la forme. En effet, en considérant comme ressource élémentaire toute entité exécutable via un navigateur web, on place au même plan des sources brutes d'information (une page web, une image JPEG, un son) et des applications interactives déjà porteuses d'une activité pédagogique (une applet de simulation numérique, un questionnaire sous Flash par exemple). Là encore, le suivi ne pourra pas tenir compte du comportement spécifique de l'apprenant lors de la manipulation de tels objets.

En résumé, s'ils sont appliqués tels quels, les modèles tels que SCORM et le LOM pourraient constituer un frein à la richesse des types d'apprentissage proposés aujourd'hui par les technologies numériques (même si le LOM propose de nombreux éléments optionnels et est extensible). Ils sont en effet principalement centrés sur les contenus et favorisent généralement un mode d'apprentissage "classique" basé sur la structuration de ces contenus en leçons, cours, modules, etc. et sur un suivi axé sur la consultation de ressources pédagogiques. La terminologie employée favorise cette structuration en évitant de décrire de façon explicite les activités de l'apprenant.

2.2.2.5 NETg (National Education Training Group) Learning Object Model

"National Education Training Group", un des leaders dans la conception des solutions de l'apprentissage en ligne a proposé un modèle d'objets d'apprentissage très axé sur la structure des cours (L'Allier, 1997 ; Verbert, 2008).

2.2.2.5.1 NETg : Structure du modèle

Selon le groupe NETg, un cours d'apprentissage en ligne est structuré comme une matrice qui se divise en trois (3) principaux composants : Une unité représentée par les colonnes de la matrice, les leçons correspondent aux lignes de la matrice, et les sujets représentés par les cellules de la matrice.

Dans la structure du cours, chaque unité, leçon ou sujet est défini par ses relations avec les composants. Ainsi :

- ✓ Un cours est constitué d'un ensemble d'unités ;
- ✓ Une unité est constituée d'un ensemble de leçons ;
- ✓ Une leçon est constituée d'un ensemble de sujets ;
- ✓ Un sujet contient un seul objectif, une seule activité d'apprentissage et une évaluation.

Un objet d'apprentissage NETg connu le nom de NLO (NETg Learning Object) est défini comme la plus petite unité indépendante d'apprentissage qui contient un objectif, une activité d'apprentissage et une évaluation de cette activité pour s'assurer que l'objectif visé est atteint par l'apprenant (L'Allier, 1997 ; Verbert, 2008).

Figure 2.3 Structure d'un cours selon NETg (Verbert, 2008)

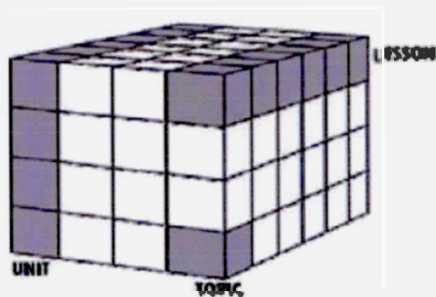
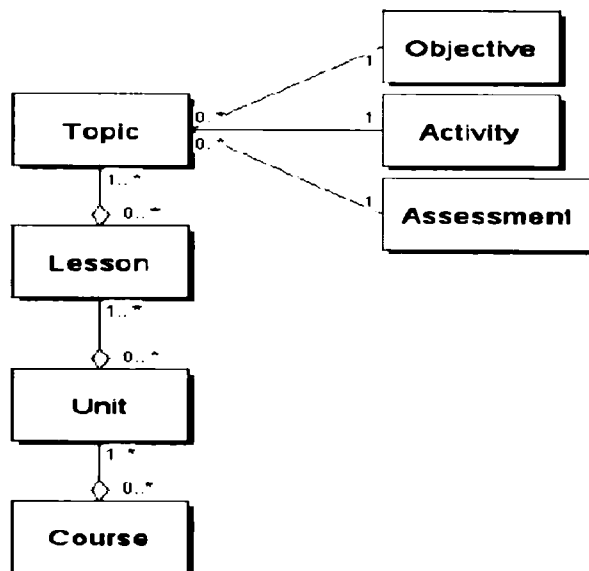


Figure 2.4 La représentation UML du modèle d'objets d'apprentissage selon NETg
(Verbert, 2008)



En tant que membre du groupe IMS Global Learning Consortium, NETg a développé son propre système de gestion des objets d'apprentissage (LMS) bâti sur l'architecture NLO. Ainsi, plus de 3000 cours sous le NETg sont disponibles et contiennent plus de 75000 objets d'apprentissage. Ces cours sont utilisés dans les certifications Microsoft, Cisco, et Novell.

2.2.2.5.2 NETg : Forces et faiblesses

Le modèle NETg identifie quatre (4) niveaux de structure (cours, unité, leçon et sujet) et trois (3) niveaux de composition ou d'agrégation d'objets d'apprentissage (cours, unité et leçon), mais le modèle fournit une définition abstraite de leur contenu, et presque pas de définition claire des composants d'objets d'apprentissage.

2.2.2.6 Learnativity Content Model

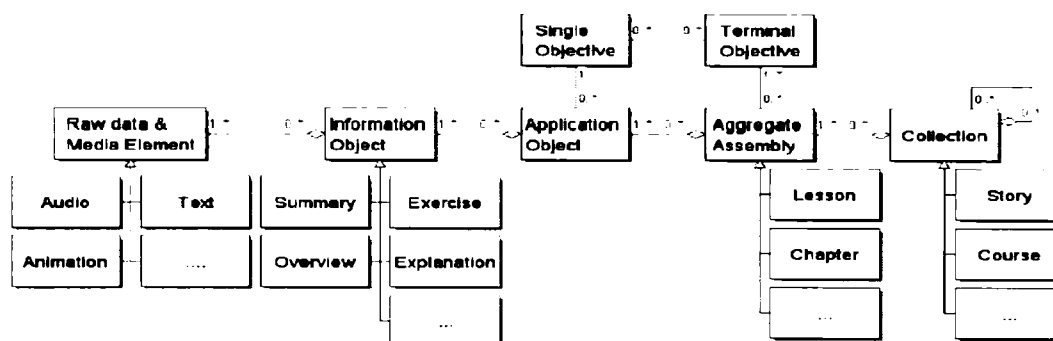
Learnativity, une petite institution de recherche et services pour les meilleures pratiques dans le domaine de l'apprentissage en ligne, a développé un modèle qui donne une description compréhensive de la granularité (Verbert, 2008 ; Wagner, 2000).

2.2.2.6.1 Learnativity : Structure du modèle

Le modèle proposé par Learnativity définit le contenu d'apprentissage en cinq (5) niveaux qui sont (Duval et Hodgins, 2003 ; Verbert, 2008):

- 1) Les données brutes et des éléments multimédias sont la plus petite échelle et se rapportent au contenu des éléments qui se trouvent à un niveau des données pures. Comme exemple, nous pouvons citer une phrase, un paragraphe, une image ou une animation ;
- 2) Un objet d'information est une combinaison des données brutes et des éléments multimédia centré sur une seule unité d'information (un seul objectif). Certains contenus sont considérés comme un concept qui illustre un principe, ou décrit un processus. Les exercices sont considérés comme des objets d'information ;
- 3) Un ensemble d'objets d'information représente un troisième niveau et forme les objets d'application. Les objets d'apprentissage font leur apparition à ce niveau selon la définition du standard LOM ;
- 4) Les objets d'application groupés forment plusieurs objectifs et correspondent aux leçons et aux chapitres ;
- 5) Le 5e niveau est un regroupement de chapitres et de leçons pour former une grande collection correspondant aux cours et aux programmes.

Figure 2.5 La représentation UML du Modèle de Learnativity (Verbert, 2008)



2.2.2.6.2 Learnativity : Forces et faiblesses

Le modèle de Learnativity a reçu un bon feedback au sein des communautés d'éducation et de formation en ligne et il sert de base à plusieurs projets d'apprentissage en ligne. Le 2^e niveau de composition des éléments du 1^{er} niveau (données brutes / éléments multimédia) correspond aux objets d'information, bien que centrés sur une seule unité d'information, ne sont pas nécessairement liés à un objectif d'apprentissage.

2.2.2.7 NCOM (Navy Content Model)

Pour répondre aux besoins du "Navy Interactive Learning Environment", la Navy (la marine américaine) a raffiné le modèle SCORM tout en ajoutant des définitions plus spécifiques sur les contenus des objets d'apprentissage selon les différents niveaux de granularités (Conkey *et al.*, 2006).

2.2.2.7.1 NCOM : Structure du modèle

Selon le modèle proposé par la Navy, il doit y exister une distinction claire entre les agrégations d'objets d'apprentissage (Learning Object Aggregations), les objets d'apprentissage finaux (Terminal Learning Objects - TLOs), les objets d'apprentissage de compétence (Enabling Learning Objects - ELOs) et les ressources numériques élémentaires (assets) (Conkey *et al.*, 2006 ; Verbert, 2008):

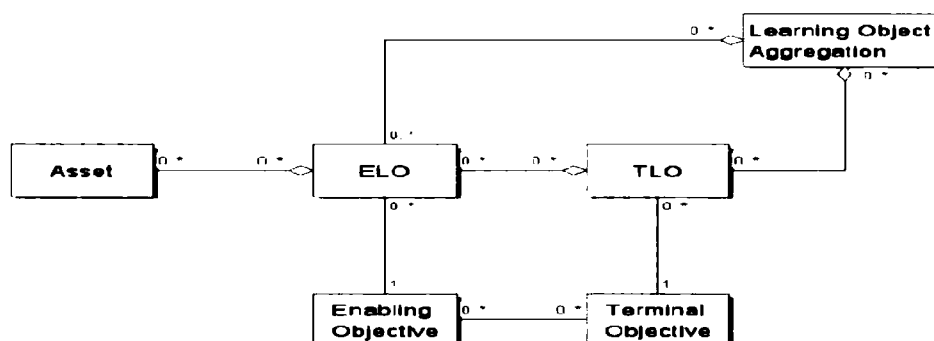
- ✓ Une agrégation d'objets d'apprentissage est le plus haut niveau de regroupement des contenus de TLOs and ELOs ;
- ✓ Un TLO est un ensemble d'un ou plusieurs ELOs qui répond à un objectif final et correspond à une activité dans le modèle SCORM. Les objectifs d'apprentissage finaux sont associés à des leçons ;
- ✓ Un ELO est un ensemble d'un ou plusieurs ressources numériques élémentaires (assets). Un ELO répond à un seul objectif de compétence et correspond à des exercices ;
- ✓ Une ressource numérique élémentaire est un simple texte ou un simple élément multimédia (un objet d'évaluation, une vidéo ou autre élément de base).

Ci-dessous une table de correspondance entre les éléments des modèles SCORM et NCOM, suivie de la représentation UML du modèle NCOM.

Tableau 2.4 Table de correspondance entre les modèles SCORM et NCOM

SCORM	NCOM
Content aggregation	Learning Object Aggregation
Activity	Terminal Learning Object (TLO)
Sharable Content Object (SCO)	Enabling Learning Object (ELO)
Asset (with metadata)	Asset

Figure 2.6 Représentation UML du modèle NCOM (Verbert, 2008)



2.2.2.7.2 NCOM : Forces et faiblesses

Bâti sur le modèle SCORM, le NCOM est conforme au SCORM avec un ajout des définitions spécifiques au niveau de la granularité. Tout comme le modèle SCORM, NAVY définit un 3^e niveau d'agrégation des objets d'apprentissage qui représentent les cours et les programmes. Hormis de l'ajout de plus de détails sur la définition de la granularité pour faciliter la réutilisation, NAVY, par l'effet de l'héritage, souffre des mêmes faiblesses que SCORM (Verbert, 2008).

2.2.2.8 Cisco RLO / RIO Model

L'entreprise Cisco Systems, Inc. a bâti son modèle en se basant sur une stratégie orientée objet pour développer les contenus d'apprentissage (Barrit, Lewis et Wieseler, 1999).

2.2.2.8.1 Cisco RLO / RIO : Structure du modèle

Cisco définit les leçons comme les objets d'apprentissage réutilisables (Reusable Learning Objects - RLOs) et les sujets d'une leçon comme les objets d'information réutilisables (Reusable Information Objects - RIOs) (Verbert, 2008).

Figure 2.7 Structure des RLO et RIO selon le modèle Cisco (Barrit, Lewis et Wieseler, 1999 ; Verbert, 2008)

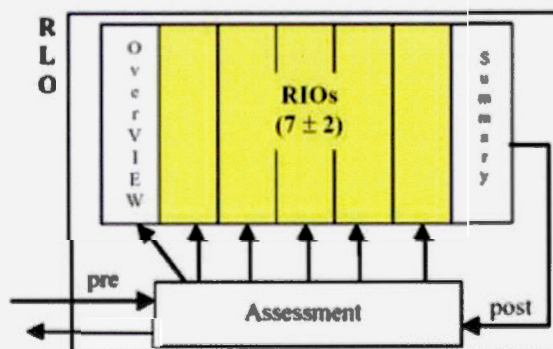


Tableau 2.5 Une vue d'ensemble des éléments de contenus impliqués dans la construction des RIOs types, des vues d'ensembles et des sommaires RLO, r = obligatoire (required), o = optionnel (optional) (Schluep, Bettoni et Guttormsen Schär, 2006 ; Verbert, 2008)

RLO-RIO type	Content Items
RLO Overview	Introduction (r), importance (r), objectives (r), prerequisites (r), scenario (o), outline (r)
RLO Summary	Review (r), next steps (o), additional resources (o)
Concept RIO	Introduction (r), facts (o), definition (r), example (r), non-example (o), analogy (o), instructor notes (o)
Fact RIO	Introduction (r), facts (r), instructor notes (o)
Procedure RIO	Introduction (r), facts (o), procedure table (r), decision table (r), combined table (r), demonstration (o), instructor notes (o)
Process RIO	Introduction (r), facts (o), staged table (r), block diagrams (r), cycle charts (r), instructor notes (o)
Principle RIO	Introduction (r), facts (o), principle statement (o), guidelines (r), example (r), non-example (o), analogy (o), instructor notes (o)

2.2.2.8.2 Cisco RLO / RIO : Forces et faiblesses

Dans le modèle Cisco, un élément RIO agit comme un composant d'apprentissage indépendant qui peut être utilisé par un apprenant qui a besoin d'un élément d'information spécifique d'une part. D'autre part, les éléments RIOs peuvent être assemblés pour construire des RLOs personnalisés qui répondent aux besoins individuels de chaque apprenant. Les RLOs peuvent être ordonnés selon une séquence pour créer un cours sur un sujet particulier (Verbert, 2008).

Les approches de David Merrill (Merrill, 1983) et de Ruth Clark (Clark, 2011) servent de fondation pour ce modèle. Le modèle définit un seul niveau de granularité (insuffisant pour une bonne réutilisation) et les types de contenus sont seulement définis conceptuellement, mais aucune spécification n'est donnée d'un point de vue technique (Schluep, Bettoni et Guttormsen Schär, 2006).

2.2.2.9 dLCMS (dynamic Learning Content Management System) Component Model

dLCMS propose un modèle qui vise à fournir une stratégie de modularisation combinée avec des balises de structure pour améliorer la réutilisation des contenus d'apprentissage (Schluep, Bettoni et Guttormsen Schär, 2006 ; Verbert, 2008).

2.2.2.9.1 dLCMS : Structure du modèle

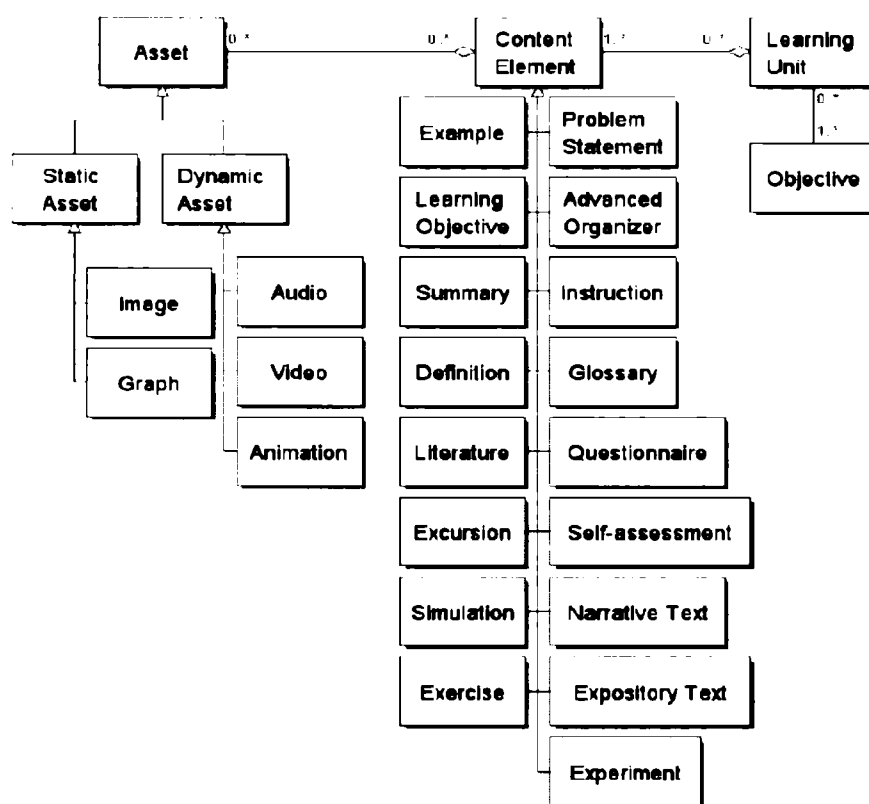
Le modèle dLCMS définit trois (3) niveaux d'agréations qui sont (Verbert, 2008):

- 1) Les ressources numériques élémentaires (assets) sont des éléments multimédias comme des images, des vidéos, des animations ou des simulations. Ils sont des données d'objets binaires qui peuvent être facilement divisés en des petits composants et qui contiennent des informations graphiques ou sonores soit statique (image, graphique) ou dynamique (vidéo, audio, animation) ;
- 2) Les éléments de contenu sont définis comme des petits modules d'apprentissage qui :
 - servent de blocs de construction de base de contenu d'apprentissage ;
 - peuvent être regroupés pour former des unités d'apprentissage sonores;
 - sont autonomes ;
 - sont basés sur un seul type de contenu didactique ;
 - sont réutilisables dans plusieurs contextes pédagogiques ;
 - peuvent contenir des ressources numériques élémentaires dont les exemples incluent des exercices, des expériences, des questionnaires et des résumés ;
- 3) Une unité d'apprentissage est définie comme une composition d'éléments de contenus qui est présentée à l'apprenant. Généralement, elle sert de leçon en ligne et peut être utilisée pour enseigner plusieurs objectifs pédagogiques. Elle

fournit la possibilité de définir des chapitres sous forme de structure hiérarchique de nœuds. Chaque nœud sera associé à un élément de contenu à travers des références. Ainsi, les éléments de contenus ne sont pas copiés dans une unité d'apprentissage, mais référencés par des liens.

La figure ci-dessous nous montre la représentation modèle dLCMS.

Figure 2.8 Représentation UML du modèle dLCMS (Verbert, 2008)



2.2.2.9.2 dLCMS : Forces et faiblesses

Le modèle dLCMS fournit une hiérarchisation de contenus d'apprentissage bien définis. Les ressources numériques élémentaires sont assemblées en éléments de contenu et les éléments de contenu sont assemblés en unités d'apprentissage. Ces

Unités d'apprentissage peuvent être de toute taille et peuvent être utilisées pour plusieurs objectifs d'apprentissage (Verbert, 2008).

Le modèle dLCMS définit un 2^e niveau d'agrégation de composant d'objet d'apprentissage qui assemble les éléments du 1^{er} niveau. Le modèle définit ce 2^e niveau comme un assemblage des ressources numériques élémentaires du 1^{er} niveau en se concentrant sur une seule pièce d'information, mais pas nécessairement liée à un objectif d'apprentissage spécifique. Développé à des fins académiques, un prototype modélisé et implanté démontre comment gérer et traiter les contenus d'apprentissage modulaire conforme au modèle dLCMS. L'implémentation du prototype offre des fonctions de création des objets d'apprentissage, de sauvegarde ou stockage, d'assemblage, de référencement, d'édition, et d'exportation (Verbert, 2008).

2.2.2.10 New Economy Didactical Model

Un autre modèle développé à des fins académiques (environnements académiques) est le New Economy Didactical. Ce modèle est le résultat d'un projet de recherche de la New Economy supporté par le ministère fédéral de l'éducation et de la recherche de l'Allemagne (Löser, Grune et Hoffmann, 2002 ; Verbert, 2008). L'objectif principal du projet est la création de nouveaux programmes et l'élaboration des matériels multimédias interactifs en ligne pour supporter les études de MBA. Sept (7) Universités et Instituts allemands étaient associés à ce projet.

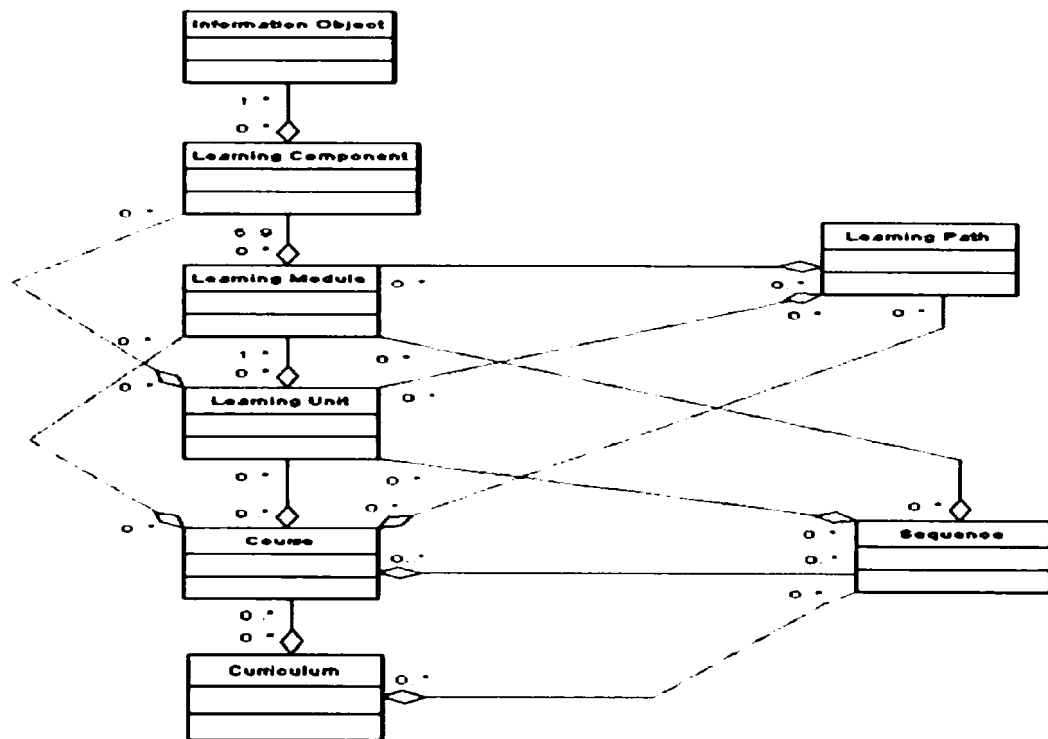
2.2.2.10.1 New Economy Didactical Model : Structure du modèle

Ce modèle définit huit (8) types de composants qui sont (Verbert, 2008):

- 1) Un objet d'information est défini comme un petit objet d'apprentissage, sans aucune structure logique complexe, représenté par des multimédias (image, vidéo, texte) et dédié à des unités pédagogiques appropriées ;

- 2) Un composant d'apprentissage est défini comme un objet d'apprentissage issu de l'assemblage d'un petit nombre d'objets d'information, dans le souci de former une des fonctionnalités suivantes : la motivation, la connaissance de base ou de la théorie, un exemple, une référence, question ouverte, un problème, le laboratoire virtuel ;
- 3) Un module d'apprentissage est défini comme une structure logique avec un objectif pédagogique, constitué de composants d'apprentissage. Un module d'apprentissage est associé à un élément RLO de Cisco ou à une leçon ;
- 4) Une unité d'apprentissage est définie comme une structure conçue pour servir un contenu complexe. Elle résulte de la combinaison de composants et de modules d'apprentissage. Un bon exemple est une étude de cas contenant trois (3) modules d'apprentissage combinés à un laboratoire virtuel ;
- 5) Un cours résulte de la combinaison de modules et d'unités d'apprentissage. Il fait partie d'un programme ;
- 6) Un programme est une composition de cours et d'unités d'apprentissage en fonction d'un ou de plusieurs spécifications académiques ;
- 7) Un scénario ou un chemin d'apprentissage est une structure constituée de modules et d'unités d'apprentissage, qui peut être individuellement ajusté à un apprenant ;
- 8) Une séquence est définie comme un résultat de recherche individuelle dans différents entrepôts d'objets d'apprentissage afin d'étendre la connaissance personnelle.

Figure 2.9 La représentation UML du modèle de New Economy Didactical Model
(Verbert, 2008)



Le travail de David Wiley a servi de base à un ensemble de caractéristiques qui a été défini dans le cadre de ce modèle (Verbert, 2008 ; Wiley, 2001). Ces caractéristiques sont :

- ✓ **Nombre d'éléments combinés** : décrit le nombre d'éléments individuels comme des vidéos, des images, ou textes, qui peuvent être combinés ;
- ✓ **Type d'objets combinés** : décrit les types d'objets d'apprentissage qui peuvent être combinés afin de former un objet d'apprentissage ;
- ✓ **Relation entre les structures logiques et les contenus** : décrit la partie des structures logiques en relation avec les éléments de contenu ;
- ✓ **Possibilité d'un modèle d'apprentissage pédagogique** : construit le lien entre l'objet d'apprentissage et la théorie d'apprentissage ;

- ✓ **La réutilisabilité dans les autres objets d'apprentissage** : décrit la possibilité de réutilisation dans les autres objets d'apprentissage ;
- ✓ **Réutilisabilité dans les autres contextes** : décrit la possibilité d'utiliser les objets d'apprentissage dans d'autres domaines.

Tableau 2.6 Les différents niveaux d'assemblage du modèle New Economy Didactical (Verbert, 2008)

	Information Object	Learning Component	Learning Module	Learning Unit	Course	Curriculum	Learning Path	Sequence
1	One-very few	Few	7±2	Few	Some-many	Many learning units	Many	Many
2	Physical media objects such as text and pictures	Information objects	Learning components: at least motivation and theory	Learning modules, Learning components	Learning unit, learning module, sequence, learning path	Learning unit, sequence	Learning unit, learning module	Learning unit, learning module
3	Content and fragments			Logical structures for the grouping and nesting of learning objects				
4	None	Depends on component type, for example <i>Instructionistic</i> , <i>Problem Oriented</i> , <i>Constructivistic</i>	Arbitrary	Arbitrary	Arbitrary	Arbitrary, conclusion oriented	Goal oriented learning	Arbitrary
5	All	All, except Information Objects	Predominantly in learning units and all other structure-based types	Course, curriculum learning path and sequence	Curriculum	None	Curriculum, Course, Learning Unit	Curriculum, Course, Learning Unit
6	High	Medium	Low	Low	Low	Low	Medium	Medium

Du point de vue contenu, nous pouvons dire que six (6) niveaux d'agréations sont définis, car le scénario ou chemin d'apprentissage et la séquence sont des purs éléments structurels. Selon les auteurs du modèle, on peut considérer un objet d'information comme un objet d'information du modèle Learnativity, un composant d'apprentissage comme un élément RIO du modèle Cisco and un module d'apprentissage comme un élément RLO du modèle Cisco.

2.2.2.10.2 New Economy Didactical Model : Forces et faiblesses

Le projet New Economy avait pour but, à l'époque, de concevoir et de mettre en œuvre un programme basé sur les multimédias pour les cours en ligne en relation avec la nouvelle économie dans les champs d'économies, des médias, des communications, ainsi que des sciences informatiques (Verbert, 2008). Ce modèle a su répondre à ce besoin en définissant une bonne hiérarchie de contenu au niveau de la granularité. Les modules du programme d'études sont disponibles pour les ateliers et la formation à distance.

2.2.2.11 SLM (Semantic Learning Model)

Développé à des fins académiques, le modèle SLM vise à supporter la décomposition des objets d'apprentissage (Fernandes *et al.*, 2005 ; Verbert, 2008).

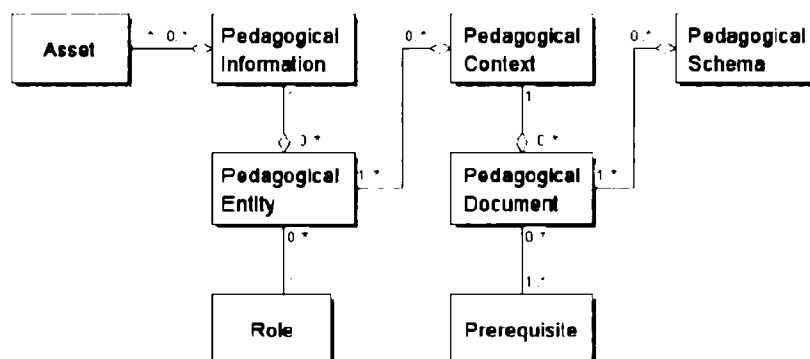
2.2.2.11.1 SLM : Structure du modèle

Ce modèle est bâti autour de six (6) catégories qui sont (Verbert, 2008):

- 1) Une ressource numérique élémentaire (asset) représente le plus petit niveau de granularité. Ces ressources peuvent être des images, des illustrations, des diagrammes, des fichiers audio et vidéo, des animations et des fragments de texte ;
- 2) Une information pédagogique est définie comme un ensemble de ressources numériques élémentaires qui explique la même situation ou qui exprime la même signification. Par exemple, une figure et sa légende ;
- 3) Une entité pédagogique est définie comme un composant pédagogique associée à un rôle pédagogique. Quatre (4) rôles ont été définis pour supporter cette définition : un concept, un argument, un problème résolu, et un simple texte ;
- 4) Un contexte pédagogique est définie comme une structure sémantique (ou un réseau) dans laquelle sont assemblées les entités pédagogiques ;

- 5) Un document pédagogique contient un contexte pédagogique avec des préalables ;
- 6) Plusieurs documents pédagogiques sont assemblés dans le souci de former un programme connu sous de schéma pédagogique.

Figure 2.10 La représentation UML du modèle SLM (Verbert, 2008)



Du point de vue contenu selon la figure ci-dessus, nous pouvons dire que dans ce modèle, seulement quatre (4) niveaux d'assemblages sont définis, car une entité pédagogique et un document pédagogique sont respectivement représentés par un seul composant d'information pédagogique et un seul contexte pédagogique.

Selon les auteurs du modèle, on peut établir les correspondances suivantes entre les modèles Learnativity et SLM (Verbert, 2008).

Tableau 2.7 Table de correspondance entre les modèles SLM et Learnativity

SLM	Learnativity
Ressource numérique élémentaire	Données brutes ou éléments multimédia
Composant d'information pédagogique	Objet d'information
Entité pédagogique	Objet d'application
Contexte pédagogique	Groupe d'objets d'application
Document pédagogique	Collection

2.2.2.11.2 SLM : Forces et faiblesses

Dans le souci de supporter la réutilisation des objets d'apprentissage, le modèle SLM a été développé à des fins académiques pour supporter la décomposition des objets d'apprentissage. Tout comme le modèle dLCMS, le modèle SLM définit un 2^e niveau d'agrégation de composant d'objet d'apprentissage qui assemble les éléments du 1^{er} niveau. Le modèle définit ce 2^e niveau comme un assemblage des ressources numériques élémentaires du 1^{er} niveau en se concentrant sur une seule pièce d'information, mais pas nécessairement liée à un objectif d'apprentissage spécifique (Verbert, 2008).

2.2.2.12 PaKMaS

PaKMaS pour Passauer Knowledge Management System est un système de gestion des contenus multimédias avec les fonctions de recherche, d'édition, d'évaluation et d'échange des matériels d'apprentissage pour les apprenants et les Enseignants (Verbert, 2008). Ce système est issu d'un modèle du même nom dont la structure est ci-dessous définie.

2.2.2.12.1 PaKMaS : Structure du modèle

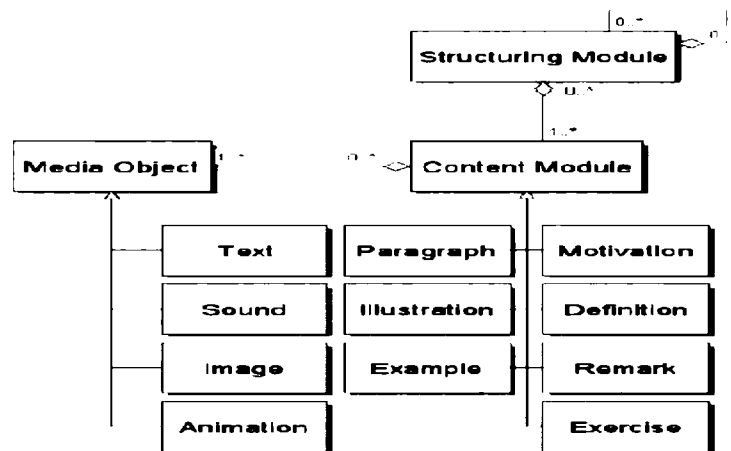
La structure de ce modèle se concentre sur la différenciation entre les objets multimédia, les modules de contenu, et les modules de structuration qui sont (Süß, Kammerl et Freitag, 2000 ; Verbert, 2008):

- ✓ Les objets multimédia sont définis au plus petit niveau de la granularité et sont classés comme : texte, audio, animations, et images ;
- ✓ Les modules de contenus sont constitués d'objets multimédia et sont classés comme des motivations, des définitions, des remarques, des paragraphes, des

exemples, des exercices, et des illustrations. Ils peuvent être organisés en listes ou tables.

- ✓ Les modules de structure sont constitués d'un ensemble de modules de contenu dédiés à plusieurs stratégies d'enseignement. Ils sont organisés en sections et collections dont les catégories sont : visites guidées, collections, glossaires et les index.

Figure 2.11 La représentation UML du modèle PaKMaS (Verbert, 2008)



2.2.2.12.2 PaKMaS : Forces et faiblesses

À partir de ce modèle, un système de gestion des connaissances a été développé avec les fonctions de recherche, d'édition, d'évaluation et d'échange des objets d'apprentissage. Les modules de contenu et de structure sont stockés dans les entrepôts sous format de LMML documents (LMML = Learning Material Markup Language) ou CMI composants logiciels (CMI = Computer Managed Instruction) (Süß, Kammerl et Freitag, 2000 ; Verbert, 2008).

Tout comme les modèles dLCMS, SLM, le modèle PaKMaS définit un 2^e niveau d'agrégation de composant d'objet d'apprentissage qui assemble les éléments du 1^{er} niveau. Le modèle définit ce 2^e niveau comme un assemblage des ressources

numériques élémentaires du 1^{er} niveau en se concentrant sur une seule pièce d'information, mais pas nécessairement liée à un objectif d'apprentissage spécifique (Verbert, 2008).

2.2.2.13 EML (Educational Modelling Language)

Centré sur la modélisation pédagogique, Bob Koper de l'Open University of the Netherlands propose un point de vue qui se démarque des précédents en affirmant que les objets de connaissance ne constituent pas le concept-clé de la réussite d'un environnement d'apprentissage (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a). Plutôt que de définir de façon idéale un tel environnement, il énonce un ensemble de propriétés qui doivent être vérifiées :

- ✓ Un environnement d'apprentissage n'est ni un cours ni un programme de cours;
- ✓ Au sein d'un environnement d'apprentissage, ce sont davantage les activités qui sont centrales que les objets ;
- ✓ Un environnement d'apprentissage centré sur la connaissance est plus qu'un environnement d'apprentissage centré sur les compétences qui est plus qu'un simple environnement d'exercices ;
- ✓ Au sein d'un environnement d'apprentissage, personne n'apprend de la même façon ;
- ✓ Au sein d'un environnement d'apprentissage, le suivi individuel de chaque apprenant est nécessaire ;
- ✓ Il est nécessaire de passer d'une conception de l'enseignement vers une conception de l'apprentissage.

Fort de ces constats, Koper propose de décrire les situations effectives d'apprentissage à l'aide d'un Langage de Modélisation Pédagogique (EML : Educational Modelling Language) qui placerait les situations d'apprentissage et non les ressources au centre du processus.

2.2.2.13.1 EML: Structure du modèle

Le modèle EML repose au plus haut niveau sur la structuration des situations d'apprentissage en "Unités d'étude" (Units of Study). Typiquement, une Unité d'Étude (UE) peut être un cours, une leçon, une étude de cas, un travail pratique, etc. De granularité plus ou moins importante, une UE (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a) :

- ✓ vise un ou plusieurs objectifs pédagogiques précis liés entre eux ;
- ✓ ne peut être découpée sans entraîner une perte de sens ou d'efficacité pédagogique ;
- ✓ peut être assurée à distance, en présence ou de façon mixte ;
- ✓ peut reposer sur tout type de support (papier, web, ebook, mobile, etc.).

S'appuyant sur les définitions des Objets d'Apprentissage (OA) et des métadonnées proposées par l'IEEE-LTSC, Koper s'interroge sur l'adéquation de ces modèles pour définir des unités d'étude complètes, fiables et valides à partir de simples objets décrits par le LOM. Pour lui, la réponse est clairement négative, chaque type d'objet (étude de cas, texte de référence, évaluation, outil de communication, etc.) devant occuper dans une situation d'apprentissage donnée un statut précis et nouant un ensemble de relations de natures différentes avec les autres objets de l'environnement. Il convient donc en particulier de différencier les activités des ressources et d'examiner les relations de nature sémantique qui les relient.

Partant de cette carence des cadres conceptuels existants, Koper propose de définir un Langage de Modélisation Pédagogique, système de notation permettant :

- ✓ d'établir une typologie précise des OA (au sens du LOM) en fonction du rôle qu'ils jouent au sein d'une unité d'étude ;
- ✓ de classer les OA au sein d'un réseau sémantique issu d'un "méta-modèle pédagogique";

- ✓ de construire un cadre de référence permettant de décrire les relations entre les différents types d'OA ;
- ✓ de définir une structure permettant de décrire le contenu et le comportement de chaque type d'OA.

2.2.2.13.2 EML : Les aspects pertinents d'un modèle centré sur la Modélisation Pédagogique

Pour Koper, le système de notation adopté doit permettre de couvrir les exigences suivantes (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a) :

Formalisation : Le système de notation doit permettre de décrire les UE de façon formelle afin de rendre possible leur traitement automatique ; ici, la référence à des standards de notation tels que XML est implicite ;

Flexibilité Pédagogique : Le système de notation doit être compatible avec les différents modèles et théories pédagogiques ;

Typage explicite de OA : Le système de notation doit exprimer de façon explicite la sémantique et le rôle des différents OA au sein d'une UE ;

Complétude : Le système de notation doit permettre de décrire complètement une UE, les activités et les ressources qui la composent ainsi que les relations qui les unissent ;

Reproductibilité : Le système de notation doit permettre de décrire les UE en rendant possible leur exécution répétée ;

Personnalisation : Le système de notation doit permettre d'adapter le contenu et les activités au sein d'une UE à chaque apprenant, en termes de préférences, de connaissances antérieures, de besoins pédagogiques ou de situations pédagogiques ;

Indépendance vis-à-vis du multimédia : Le système de notation doit permettre de décrire les composants de contenu de façon indépendante de leur format de publication (papier, web, ebook, mobile, etc.) ;

Interopérabilité et pérennité : Le système de notation doit permettre de placer une barrière étanche entre les standards de notation et les techniques utilisées pour les interpréter. L'objectif est ici de rationaliser les investissements pédagogiques indépendamment des évolutions techniques et problèmes de conversion ;

Compatibilité : Le système de notation doit être compatible avec les standards et spécifications disponibles ;

Réutilisabilité : Le système de notation doit permettre d'identifier, décontextualiser, échanger les OA et les réutiliser dans d'autres contextes ;

Cycle de vie : Le système de notation doit permettre de créer, modifier, distribuer et archiver des UE ainsi que tous ses OA composants.

Parmi ces critères, EML souligne en particulier celui de flexibilité pédagogique en précisant que le système de notation doit :

- ✓ Être compatible avec toutes les approches éducatives. Que ce soit les approches basées sur des théories empirique, rationaliste, pragmatique, constructiviste ou socioconstructiviste ou bien leurs applications plus récentes (méthodes des cas, approche orientée compétence, approche par résolution de problèmes, apprentissage collaboratif) ;
- ✓ Permettre de décrire aussi bien des unités d'étude "verrouillées" dans lesquelles les choix ont été arrêtés lors de la conception, que des unités d'étude "ouvertes" permettant aux différents acteurs (enseignants ou autres) d'influer sur le déroulement du dispositif lors de sa mise en œuvre.

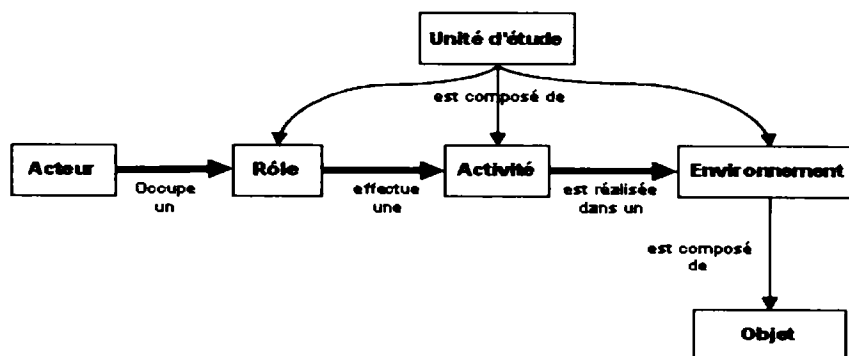
2.2.2.13.3 EML : L'activité au centre du dispositif

Contrairement aux modèles proposés auparavant, EML place l'activité au centre du dispositif. L'unité principale de structuration, l'unité d'étude, doit répondre aux contraintes suivantes (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a):

Une UE correspond à un objectif pédagogique précis et nécessite un certain nombre de préalables ;

- ✓ Une UE est composée d'un ensemble d'activités ;
- ✓ Une activité est réalisée par un ou plusieurs acteurs tenant chacun un rôle ;
- ✓ Un acteur peut être un apprenant ou un membre de l'équipe pédagogique ;
- ✓ Une activité est réalisée à l'aide d'un ensemble de ressources (ou objets d'apprentissage) accessibles au sein d'un environnement.

Figure 2.12 EML, une vue simplifiée du modèle : l'activité est au centre du dispositif
(Koper, 2001 ; Pernin, 2003a)



2.2.2.13.4 EML : Typologie des activités et des ressources pédagogiques

La figure de la vue simplifiée d'EML (l'activité au centre du dispositif) montre que pour EML, l'unité d'étude est considérée comme une composition d'activités réalisées par un ensemble d'acteurs dans un environnement donné. Il est intéressant

de noter que ce modèle ne présuppose en rien du caractère numérique des entités décrites : ce type de modélisation peut aussi bien s'appliquer à un processus d'apprentissage traditionnel qu'à un autre basé sur les technologies numériques ou hybrides.

EML distingue plusieurs types d'activité parmi lesquelles les **activités d'apprentissage** (learning activity), les **activités d'accompagnement** (support activity) et les **activités d'instrumentation** (instrumental activity). Chaque activité, caractérisée par un ensemble de préalables et d'objectifs pédagogiques, est définie par un état (par exemple, terminé) comme dans SCORM.

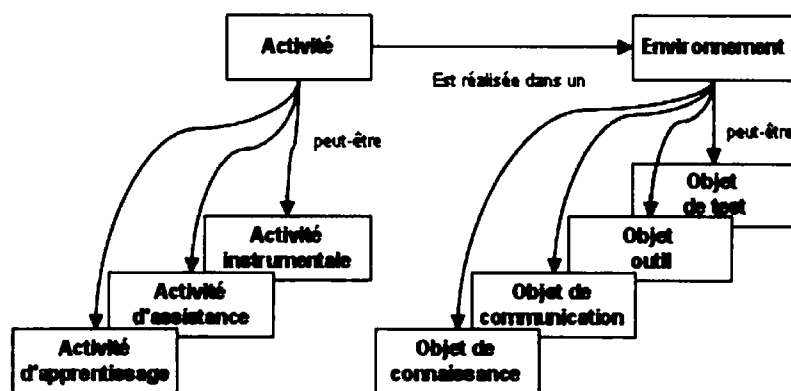
Le concept d'environnement dans lequel se déroule l'activité permet de regrouper un ensemble de ressources de tout type qui peuvent aussi bien être des sources de connaissances physiques ou numériques que les outils nécessaires à l'accomplissement de l'activité. Ainsi EML définit les types suivants d'objets (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a) :

- ✓ Les **objets de connaissance** porteurs de contenu, ont une fonction de transfert de connaissance (par exemple : livres, manuels, fiches documentaires, dictionnaires, encyclopédies, etc.) ;
- ✓ Les **objets de communication** permettent d'établir des communications synchrones ou asynchrones entre les différents acteurs (par exemple, téléphone, vidéo/audio conférences, forums de discussion, forums de bavardage, etc.) ;
- ✓ Les **objets « outils »** peuvent être utilisés soit parce que leur maîtrise est l'objectif même de l'apprentissage, soit parce qu'ils sont nécessaires pour mener à bien d'autres tâches. On peut donner comme exemples : un ordinateur, un instrument de laboratoire comme un tube d'essai, une machine outil, etc. ;

- ✓ Les **objets de test** permettent de définir les tests et questionnaires. Basé sur un modèle tel que IMS QTI⁹, ils gèrent les questions ouvertes ou fermées ainsi que les scores obtenus par les apprenants.

EML définit également d'autres classes d'objets permettant de gérer la structuration des activités, des rôles et des ressources tels que les objets propriétés, les objets sections, les objets indexes, les objets de recherche, les objets d'annonce, etc.

Figure 2.13 Différents types d'activités et de ressources pour EML (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a)



2.2.2.13.5 EML : Forces et faiblesses

Le modèle proposé par EML représente une réelle avancée par rapport aux modèles précédents qui conservent cependant leur propre intérêt. Parmi ces avantages, nous pouvons en particulier souligner les points suivants (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a):

- ✓ Le concept d'activité est explicite et occupe une position centrale. Ceci permet en particulier de modéliser un processus d'apprentissage en adoptant le point de vue de l'apprenant (que doit-il faire, pourquoi, quand et avec qui ?) plutôt que de se centrer sur les seuls contenus ;

⁹ Question and Test interoperability, <http://www.imsglobal.org/question/>

- ✓ Le modèle conduit à s'interroger sur les modèles d'apprentissage à mettre en œuvre lors de la définition des activités : s'appuie-t-on sur une démarche instructiviste, constructiviste, socioconstructiviste, etc. ? doit-on développer des contenus de cours ou en utiliser des existants ? quelle autonomie donner à l'apprenant ? quels types de collaborations envisagés entre les différents acteurs ?
- ✓ Le modèle est ouvert : il peut s'appliquer aussi bien à des processus d'apprentissage traditionnels que basés sur les technologies numériques. Il permet de concevoir des solutions hybrides combinant des méthodes et outils traditionnels dont l'efficacité est éprouvée, aussi bien que des techniques récentes permettant l'émergence de nouvelles modalités d'apprentissage ;
- ✓ Le modèle permet d'envisager de nouveaux modes de réutilisation. En séparant de façon explicite activités et ressources, il devient envisageable de disposer de « patrons d'activité » pouvant être réutilisés dans des contextes différents et avec des ressources différentes. Dans cette hypothèse, la réutilisation ne concernerait plus uniquement les ressources mais permettrait de capitaliser démarches et savoir faire pédagogiques ;
- ✓ Le modèle permet d'assurer une plus grande pérennité aux solutions développées. En effet, il devient possible de « réactualiser » des solutions développées en fonction des technologies disponibles. Une grande part de la conception d'une « unité d'étude » repose sur l'ingénierie pédagogique, sur l'agencement et la définition des activités. Pour peu que l'on admette que les informations relatives à ces aspects soient décrites dans un langage standard pérenne (basé sur XML par exemple), l'apparition inévitable de nouvelles technologies ne devrait pas remettre en cause ces importants efforts de conception, comme c'est le cas aujourd'hui. Il « suffirait » alors de mettre en place des mécanismes d'adaptation ou de redévelopper de nouvelles ressources compatibles avec ces avancées technologiques.

2.2.2.14 IMS-LD (Instructional Management System Learning Design)

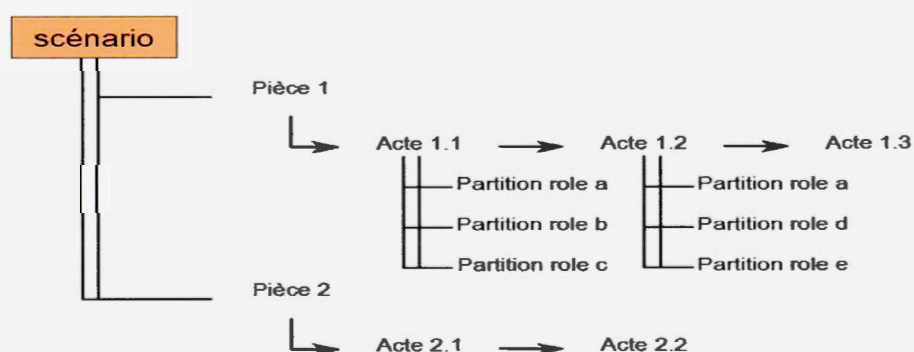
Dans la mouvance de l'Instructional Design, les langages de modélisation pédagogique apparaissent de plus en plus nécessaires aux acteurs de la formation ouverte et à distance. S'inscrivant dans ce cadre, les travaux du consortium IMS ont abouti à la spécification " Learning Design V.1.0" (IMS LD 2003). Cette proposition, issue du langage EML développé par Rob Koper (Koper, 2001 ; Pernin, 2003a), fournit un cadre méthodologique de modélisation d'une Unité d'Apprentissage (UA) et vise à proposer un compromis entre la neutralité permettant la mise en œuvre d'approches pédagogiques variées d'une part, et d'autre part la puissance d'expression permettant la conception précise d'une situation d'apprentissage. IMS-LD est une norme qui vise à apporter des éléments de pédagogie dans un système d'apprentissage en ligne. Il s'agit d'un langage de modélisation des processus d'apprentissages. Il a été conçu pour la définition de scénarios d'apprentissage et d'interaction pour les créateurs de contenu ou de cours. Il aide les concepteurs à modéliser : qui fait quoi, quand et avec quelles ressources et quels services pour réaliser des objectifs d'apprentissages. En effet, il définit la structure d'une unité d'apprentissage comme « pièce » : un ensemble « d'actes » composés de « partitions » associant des « activités » à des « rôles » (enseignant, apprenant,...) (Consortium, 2003).

2.2.2.14.1 IMS-LD : Les concepts de base

IMS Learning Design s'appuie sur le principe suivant : dans un processus d'apprentissage, chaque personne a un rôle (apprenant ou enseignant) et cherche à obtenir certains résultats en effectuant des activités d'apprentissage et/ou de soutien au sein d'un environnement (Pernin et Lejeune, 2004b). Le concept majeur d'un Learning Design, nommé « méthode » (*method*), est un élément qui permet de coordonner les activités de chaque rôle dans l'environnement associé pour atteindre certains objectifs d'apprentissage en fonction de préalables. C'est l'élément par lequel

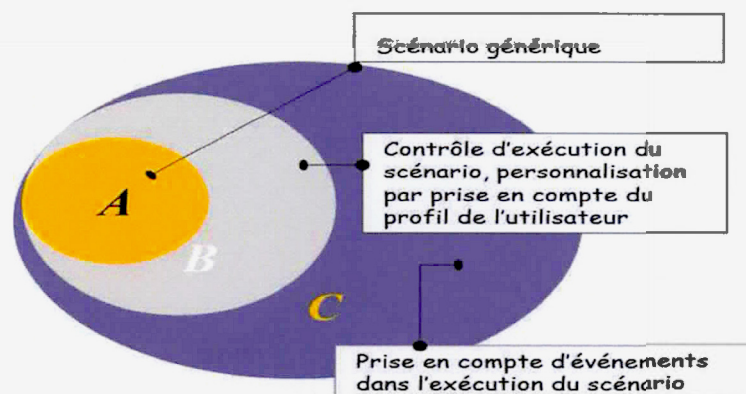
le processus d'apprentissage est défini et à partir duquel tous les autres concepts sont directement ou indirectement référencés. Le processus d'apprentissage est modélisé selon la métaphore d'une pièce de théâtre : d'un point de vue structurel, une méthode est constituée d'une ou plusieurs *pièces* ; une pièce est constituée d'une séquence d'un ou plusieurs actes : un acte est constitué d'une ou plusieurs associations d'un rôle avec une activité ou une activité structurée (l'association étant réalisée par un élément nommé *role-part*) (Pernin et Lejeune, 2004b). Les *actes* se suivent séquentiellement bien que des enchaînements plus complexes puissent être définis dans un acte. Un LD est multi-rôles, multi-utilisateurs et permet théoriquement de décrire aussi bien une situation complètement instrumentée, qu'un processus d'apprentissage mixte ou traditionnel.

Figure 2.14 Présentation d'un scénario (Pernin, 2003b)



Afin de permettre la modélisation d'unités d'apprentissage de degrés de complexité croissants, IMS LD propose trois niveaux de conception, notés A, B et C. Le niveau est le scénario générique, tandis qu'au niveau B, IMS LD introduit en particulier les *propriétés* qui permettent en combinaison avec l'expression de conditions d'en personnaliser le déroulement (Koper et Olivier, 2003 ; Pernin, 2003b ; Pernin et Lejeune, 2004b). Au niveau C, le concepteur peut utiliser les notifications, notamment pour définir des scénarios adaptatifs.

Figure 2.15 Les trois niveaux de conception d'IMS LD (Pernin et Lejeune, 2004a)

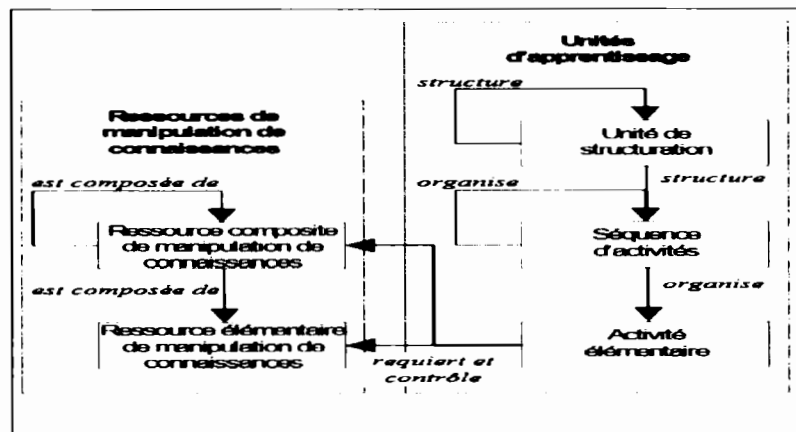


2.2.2.14.2 IMS-LD : Le modèle de composition des objets d'apprentissage

L'approche basée sur la modélisation pédagogique (où centrée sur l'activité) constitue une véritable rupture en dissociant formellement activité et ressource, et en précisant les relations sémantiques les reliant. Je présente le modèle proposé par IMS-LD en montrant sur une même figure, d'une part les associations entre activités et ressources, et d'autre part les modes d'organisation des unités d'apprentissage qui sont très différents de ceux de ressources de manipulation de connaissance (Pernin et Lejeune, 2004b). Ces dernières sont structurées de façon hiérarchique selon une logique d'agrégation de composants alors que les unités d'apprentissage sont organisées en réseau selon une logique de flux de travail, chaque entité acceptant un certain nombre de données en entrée et étant susceptible d'en produire de nouvelles.

Les espaces des activités et des ressources doivent être considérés comme indépendants, liés non pas par des relations de composition (un cours n'est pas composé de documents) mais par des relations d'association : un cours est composé d'activités requérant un certain nombre de documents et un même document peut être référencé par plusieurs activités (Pernin et Lejeune, 2004b).

Figure 2.16 Organisation des unités d'apprentissage et agrégation des ressources de manipulation de contenu (Pernin et Lejeune, 2004b)



2.2.2.14.3 IMS-LD : Forces et faiblesses

IMS-LD apparaît en effet davantage comme un modèle d'information exhaustif qu'un support méthodologique permettant l'introduction progressive d'outils prenant en compte des exigences d'utilisateurs variées. Deux (2) dimensions paraissent en effet manquer : 1) l'explicitation du processus d'élaboration, d'exploitation et d'évaluation des scénarios et 2) la décomposition d'un scénario en facettes logiques correspondant aux représentations usuelles des praticiens.

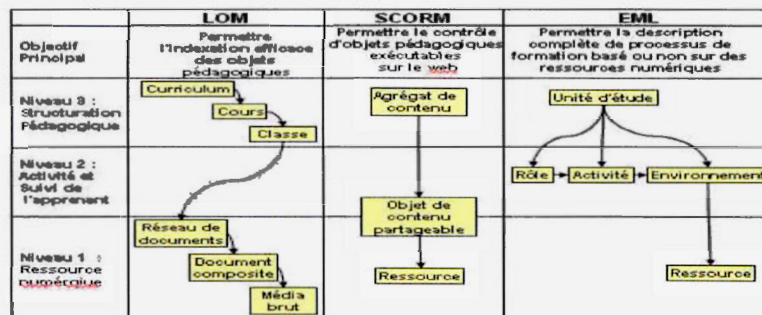
2.2.2.15 Synthèse sur les visions des différents standards / modèles

Si les standards / modèles présentés, poursuivent des objectifs communs (possibilité de rendre les objets d'apprentissage disponibles en ligne avec l'indexation, la réutilisation et l'interopérabilité) avec différentes sortes d'approche, il est intéressant de les comparer au vu de critères communs. Le tableau ci-dessous résume l'objectif principal des trois (3) modèles LOM, SCORM, EML et la façon dont sont typés les différents objets décrits en fonction de trois niveaux :

- ✓ Le niveau 1 décrit les différents types de ressources numériques ;

- ✓ Le niveau 2 s'intéresse à la modélisation des activités de l'apprenant ;
- ✓ Le niveau 3 s'intéresse à la structuration des activités pédagogiques en entités de plus haut niveau.

Tableau 2.8 Tableau de comparaison des modèles LOM, SCORM, et EML (Pernin, 2003a)



Le LOM, premier modèle initié par IMS et ARIADNE, s'est clairement centré sur l'indexation des « objets ». L'effort a principalement porté sur la description des ressources à l'aide de métadonnées permettant une indexation efficace des objets, leur partage et leur réutilisation. La problématique principale du LOM relève essentiellement **du domaine des systèmes d'information**, avec toute la complexité que cela suppose. Comme nous l'avons vu plus haut, la terminologie utilisée par le LOM pour les différents niveaux de structuration pédagogique favorise un type d'apprentissage centré sur les contenus, sans aborder précisément l'activité de l'apprenant.

Ce dernier aspect est traité partiellement par SCORM, qui pose le problème du « pont » entre un agrégat de contenu et une ressource, en définissant le concept d'Objet de Contenu Réutilisable (SCO), ensemble cohérent de ressources numériques pouvant faire l'objet d'un suivi depuis un Système de Gestion d'Apprentissage. L'activité de l'apprenant n'est pas explicitement décrite dans le modèle mais est matérialisée par une trace de l'utilisation par l'apprenant des ressources selon un protocole élémentaire. On peut également constater que SCORM utilise un vocabulaire

favorisant une approche ascendante : un SCO est vue comme une agrégation de ressources élémentaires et une unité pédagogique comme une agrégation de SCOs. Là encore, il n'existe que peu de liberté pour exprimer des types d'apprentissage variés, le concepteur étant amené à considérer un cursus de formation comme une composition hiérarchique de contenus et de ressources. Cela peut être justifié par le fait que le point de vue initial de SCORM est essentiellement **technique et opérationnel**, et vise à fournir les modalités nécessaires à la réutilisation et au contrôle de composants pédagogiques à travers le Web.

Partant des standards Dublin Core, LOM, etc., plusieurs modèles de composition des objets d'apprentissage et gestion des contenus (SCORM Model, NETg Content Model, Learnativity, Navy Content Model, Cisco RLO / RIO Model, dLCMS Component Model, New Economy Didactical Model, Semantic Learning Model, PaKMaS) ont fait leur apparition pour résoudre les enjeux et défis liés au domaine d'apprentissage en ligne avec un accent particulier sur le niveau de granularité et l'organisation des contenus. Ces multiples modèles ont générés une très grande hétérogénéité de définitions et d'agrégations des objets d'apprentissage où certains modèles considèrent des objets d'apprentissage comme des leçons, tandis d'autres les associent aux concepts, principes, faits, procédures, et processus.

Ci-dessous un tableau comparatif de ces modèles :

Tableau 2.9 Tableau comparatif des modèles SCORM, NETg Content, Learnativity, NAVY, Cisco RLO / RIO, dLCMS, New Economy Didactical Model, SLM, PaKMaS (Verbert, 2008)

	LO Component		Learning Object				
	CF	CO	Single-Objective	Larger-Objective	LO Aggregations		
SCORM	Asset		SCO	Activity	Content Aggregation		
NETg			Topic	Lesson	Unit	Course	
Learnativity	Raw media	Information Object	Application Object	Aggregate Assembly	Collection		
NCOM	Asset		ELO	TLO	Learning Object Aggregation		
Cisco	Content Item		RIO	RLO			
New Econ.		Information Object	Learning Comp.	Learning Module	Learning Unit	Course	Curriculum
SLM	Asset	Pedagogical Information	Pedagogical Entity	Pedagogical Context	Pedagogical Document		Ped. Schema
PaKMaS	Media Object	Content Module	Structuring Modules				
dLCMS	Asset	Content Element	Learning unit				

Enfin, les langages de modélisation pédagogique placent la pédagogie au centre du processus. Les concepts d'activité et d'acteur y sont explicites et conduisent à s'interroger en amont de la formation sur les modèles d'apprentissage à mettre en œuvre. Le modèle EML permet de concevoir des solutions hybrides combinant des méthodes pédagogiques et outils traditionnels dont l'efficacité est éprouvée, aussi bien que des techniques récentes permettant l'émergence de nouvelles modalités d'apprentissage. Le point de vue relève avant tout d'une **problématique d'ingénierie pédagogique**.

Si le modèle conceptuel initial proposé par Rob Koper (modèle EML) articulant les relations entre acteurs, activités et ressources constitue une avancée très importante, le langage de modélisation proposé reste parfois flou sur les situations visées et les processus de mise en œuvre associés. On peut également constater que la spécification IMS LD s'est progressivement enrichie d'items permettant la description efficace de la plus large variété de situations d'apprentissage, mais reposant sur un vocabulaire technique (concepts de conditions, notifications,

événements) ou hermétique (niveaux A, B et C) peu à la portée publique de concepteurs visés. IMS LD apparaît en effet davantage comme un modèle d'information exhaustif qu'un support méthodologique permettant l'introduction progressive d'outils prenant en compte des exigences d'utilisateurs variées.

Les standards EML et IMS-LD permettent une certaine interopérabilité et réutilisation des objets d'apprentissage dans d'autres modules pour différentes formations ou systèmes. Ils améliorent également le dialogue entre les objets pédagogiques et le système d'une part, et entre les acteurs et le système d'autre part. Par contre, Les critiques d'Ulrich (Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a) sur les standards LOM et IMS-LD nous faisaient comprendre les dimensions manquantes suivantes :

- ✓ Même si le standard LOM tenait compte d'une description des ressources, d'une perspective d'instruction ; les objets d'apprentissage selon ces standards sont limités aux exercices, simulations, questionnaires, examens, expériences, rapport de problèmes, évaluation de soi-même, et conférence. Cette liste n'est pas exhaustive, car, elle ignore les catégories telles que définition, question, Réponse, exemple, explication, etc.
- ✓ Bien que le standard IMS LD décrive les activités d'apprentissage et les rôles des parties impliquées, il ne représente pas les fonctions d'instruction de ces ressources.

Les approches abordent le concept d'objet d'apprentissage ou d'objet pédagogique sous un ou plusieurs angles précis, informationnel, technique, opérationnel ou pédagogique. Historiquement, ce sont les modèles traitant des « couches basses » (les ressources numériques) qui sont apparus les premiers. Ce fait est dû à ce que ce sont principalement des « techniciens » (informaticiens et Gestionnaires de projets éducatifs du monde académique ou industriel) qui en ont été à l'origine en étant confrontés de façon quotidienne à la complexité de la gestion de ressources

pédagogiques numériques hétérogènes, peu pérennes et souvent redondantes. Dans ces modèles (tels que le LOM, puis SCORM), les aspects pédagogiques ont souvent été limités à des modèles « classiques » centrés sur la diffusion de contenus. Comme le souligne Rob Koper (Koper, 2001), l'approche centrée sur l'activité remet profondément en cause la démarche dominante axant l'ingénierie des dispositifs d'apprentissage sur les "objets de contenu" (Pernin, 2003a, 2003b ; Pernin et Lejeune, 2004b, 2004a).

2.2.2.16 En Résumé

L'utilisation des métadonnées, la définition des niveaux de granularité et de la modélisation pédagogique telle qu'elles sont préconisées dans les standards / modèles mentionnés ne suffisent cependant pas et ne solutionnent pas les problématiques des systèmes d'apprentissage en ligne, en l'occurrence l'accessibilité, la réutilisabilité et l'interopérabilité.

Ces multiples standards / modèles ont générés une grande banque de mots qui font référence souvent à la même chose sans l'appeler de la même façon. Cette très grande hétérogénéité de définitions et de niveaux d'agrégations des objets d'apprentissage (ou certains modèles considèrent des objets d'apprentissage comme des leçons, tandis d'autres les associent aux concepts, principes, faits, procédures, et processus) représente un obstacle, voir un frein pour l'apprentissage, la réutilisation des contenus existants, l'interopérabilité à l'échelle mondiale, car il devient difficile de savoir si un contenu peut être réutilisé ou réorienté dans un autre contexte différent de celui pour lequel il a été créé (Verbert, 2008).

Un problème complémentaire relève du fait que le système et les acteurs doivent partager le même sens accordé aux valeurs des métadonnées. D'autre part, les liens et relations comme la composition, l'ordre d'apprentissage, et les dépendances de préalables entre chaque objet pédagogique doivent être mentionnés pour permettre non seulement de réaliser des traitements ou tâches automatiques sur ces objets, mais

aussi des tâches d'inférence. *D'où les ontologies semblent meilleures pour résoudre ces problèmes.*

2.3 Composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies

Sans se répéter, le manque de contenu sémantique, de contenu d'instruction des ressources d'apprentissage obtenus à partir des modèles et standards mentionnés précédemment et l'application difficile d'un raisonnement (inférence) pour générer d'autres nouvelles connaissances, faciliter l'interopérabilité et la réutilisation ont conduit à l'introduction d'un ensemble de concepts connu sous le nom d'ontologie.

L'apprentissage en ligne et la composition automatique des objets traditionnels soulevaient un certain nombre de questions non répondus par les modèles et standards existants, mais répondus par ceux fondés sur les ontologies. Ces questions sont :

- ✓ Quel est le contenu réel d'une page Web ?
- ✓ Quels sont les concepts pédagogiques derrière ce contenu ?
- ✓ Quel est le rôle d'instruction de chacun de ses composants ?

Ainsi, certains projets de recherche ayant pour objectif la génération des objets d'apprentissage bâtis plus ou moins sur les ontologies ont vu le jour. Parmi ces projets de recherche, nous pouvons citer quelques uns :

- ✓ SeLeNe pour *Self eLearning Networks* (Keenoy *et al.*, 2004) ;
- ✓ Trial-Solution pour *Tools for Reusable, Integrated, Adaptable Learning – Systems/Standards for Open Learning Using Tested, Interoperable Objects and Networking* (Buffa *et al.*, 2005) ;
- ✓ IMAT pour *Integrated Manuals And Training* (De Hoog *et al.*, 2002) ;
- ✓ ALOCOM pour *Abstract Learning Object Content Model* (Verbert, 2008) ;
- ✓ Architecture basée sur le modèle "Knowledge Puzzle Content Model" (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a).

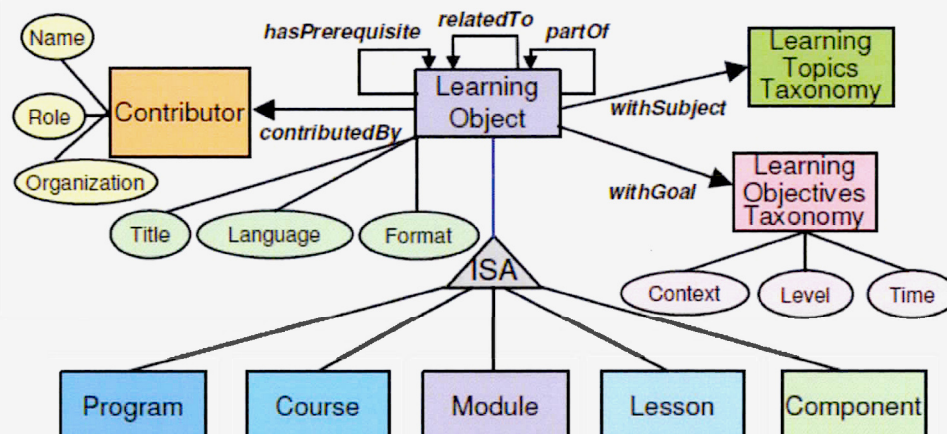
J'expliquerai brièvement les projets SeLeNe, Trial-Solution, IMAT, ALOCOM, tout en dégagant leurs points forts et faibles. Ensuite, J'expliquerai plus en détails l'approche "Knowledge Puzzle Content Model" (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a) qui servira de base pour notre approche.

2.3.1 SeLeNe

Le projet SeLeNe étudie la faisabilité et la conception d'un outil pour répondre aux besoins des communautés (Enseignants / Apprenants) dans l'apprentissage sur le Web. Le projet SeLeNe prend des documents (DocBook) en entrée et les transforme en objets d'apprentissage (OA), ensuite il offre des services pour la découverte, le partage et la création collaborative de ces objets, ce qui facilite un accès syndiqué et personnalisé à ces ressources (Keenoy *et al.*, 2004 ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a).

Les descriptions de métadonnées des objets d'apprentissage (OA) et les schémas associés forment le répertoire d'information où les utilisateurs peuvent faire des requêtes pour localiser les ressources appropriées à leurs besoins d'apprentissage ou d'enseignement. Les utilisateurs doivent également définir des vues personnalisées sur ce large éventail de données hétérogènes (Keenoy *et al.*, 2004 ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a).

Figure 2.17 Vue du schéma descriptif des objets d'apprentissage dans SeLeNe (Keenoy *et al.*, 2004 ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a)



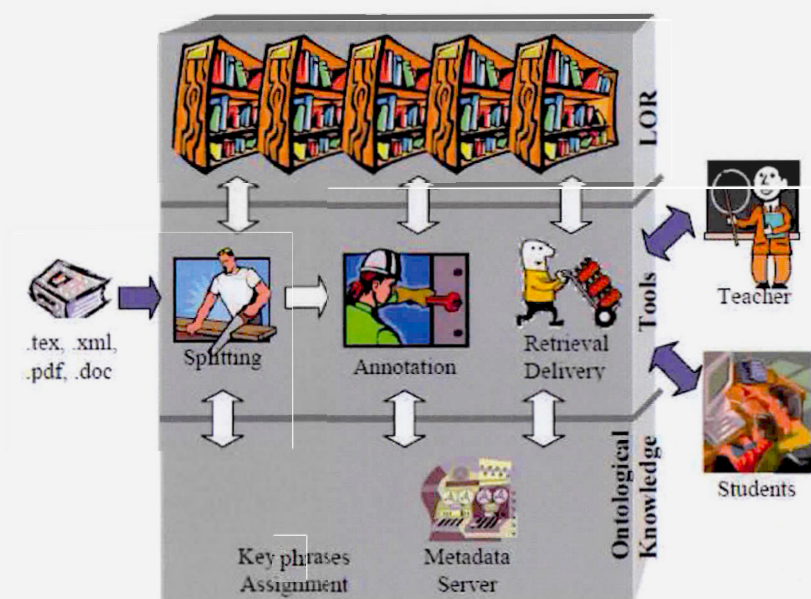
2.3.2 Trial-Solution

L'approche générale consiste à découper les livres électroniques en ressources pédagogiques élémentaires puis à raffiner ce découpage et à annoter les ressources avec des métadonnées sur leurs contenus sémantiques, sur leurs caractéristiques pédagogiques et leurs interrelations dans le but de permettre une recherche « intelligente » (Buffa *et al.*, 2005). L'ensemble des ressources annotées est disponible sur un serveur Web, dédié aux enseignants et aux étudiants. Des outils de recherche de ressources et de publication de documents ont été développés pour permettre à ces utilisateurs finaux de rechercher sur le serveur.

La plateforme Trial Solution intègre trois (3) principaux services (Buffa *et al.*, 2005):

- ✓ L'extraction et l'annotation automatique de ressources pédagogiques à partir de livres électroniques ;
- ✓ Le ré-ingénierie des ressources pédagogiques extraites ;
- ✓ La recherche dans l'entrepôt des ressources ainsi constituées, basée sur les annotations sémantiques des ressources.

Figure 2.18 La plateforme Trial Solution (Buffa *et al.*, 2005)



2.3.3 IMAT

L'objectif principal du projet IMAT était le développement d'un ensemble de produits pour soutenir une meilleure et efficace réutilisation du contenu des manuels techniques à des fins pédagogiques. En outre la création d'une structure pour faciliter le stockage et l'échange de l'expérience acquise en travaillant avec ce matériel (De Hoog *et al.*, 2002).

L'approche était de prendre un manuel technique tel que livré par le fabricant de l'équipement, diviser en petits fragments homogènes et stocker ces fragments. Ces derniers sont indexés de manière significative dans une base de données orientée objet. Cette base de données avec des fragments peut être utilisée pour récupérer des matériaux lors de la création d'un matériel de formation dans un environnement de création des objets d'apprentissage choisi par un utilisateur. Autrement dit le projet IMAT consiste à réutiliser des manuels techniques comme matériel de formation en utilisant une analyse automatisée de documents (documents PDF) combiné avec

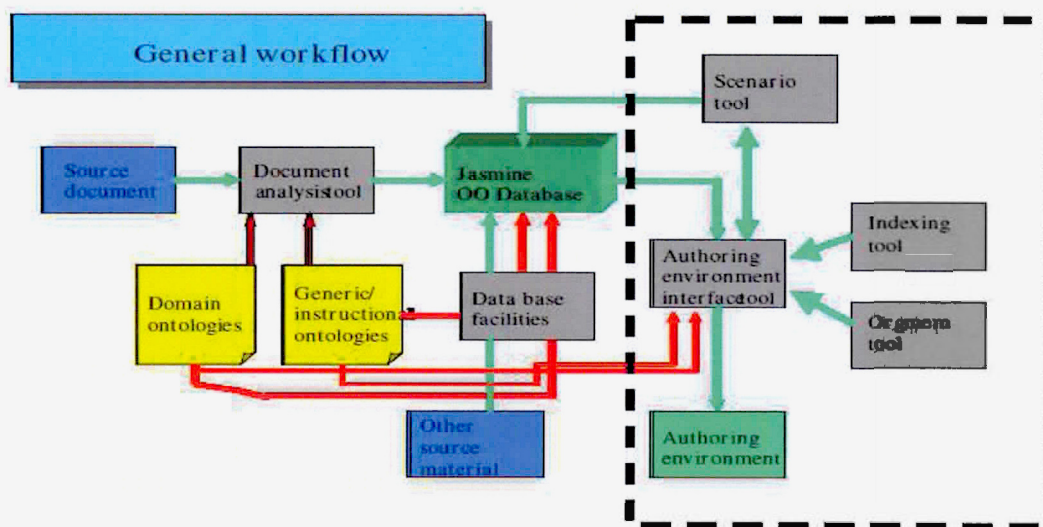
l'indexation de l'ontologie. Un document fragmenté peut être indexée selon différents points de vue: général et syntaxique (ontologie de fragment), sémantique (la description ontologie de description), enseignement et domaine (De Hoog *et al.*, 2002).

Le projet IMAT a permis de livrer une collection d'outils interopérables qui sont (De Hoog *et al.*, 2002):

- ✓ Un schéma de base de données de fragments décrits
- ✓ Un outil d'analyse des documents qui analyse les fragments et indexe les manuels techniques ;
- ✓ Un outil de gestion de base de données incluant la gestion des versions de fragments ;
- ✓ Un outil qui sert d'interface, permet de récupérer les fragments de la base de données et de les transférer dans un environnement de création des objets d'apprentissage. Cet outil est aussi utilisé pour indexation et annotation des fragments ;
- ✓ Un outil de développement de l'ontologie pour créer des ontologies de manière structurée ;
- ✓ Un ensemble d'ontologies pour décrire les fragments du point de vue : général et syntaxique (ontologie de fragment), sémantique (la description ontologie de description), ou selon le domaine.

Les outils ont été utilisés dans trois (3) sites différents, chacun représentant différentes approches pour la création des matériels de formation et de l'enseignement: l'entretien des canons antiaériens, la réparation et l'entretien de l'équipement de contrôle de la circulation automobile. La figure ci-dessous nous donne une meilleure compréhension de la conception et de "workflow" des outils IMAT.

Figure 2.19 Collection d'outils interopérables de IMAT (De Hoog *et al.*, 2002)



2.3.4 ALOCOM

Comme mentionné dans le résumé sur les standards / modèles, l'apparition de plusieurs standards / modèles a généré une grande banque de mots qui font référence souvent à la même chose sans l'appeler de la même façon. Cette très grande hétérogénéité de définitions et de niveaux d'agréations des objets d'apprentissage (ou certains modèles considèrent des objets d'apprentissage comme des leçons, tandis d'autres les associent aux concepts, principes, faits, procédures, processus) représente un obstacle, voir un frein pour l'apprentissage, la réutilisation des contenus existants, l'interopérabilité à l'échelle mondiale, car il devient difficile de savoir si un contenu peut être réutilisé ou réorienté dans un autre contexte différent de celui pour lequel il a été créé (Verbert, 2008).

Pour résoudre cet aspect de la problématique dans le domaine de l'apprentissage en ligne, un nouveau modèle nommé ALOCOM (*Abstract Learning Object Content Model*) basé les ontologies a été développé pour faciliter l'interopérabilité entre

certaines modèles existants. Quelques modèles ont été analysés et mappés au modèle générique de ALOCOM. Cette méthode comporte trois (3) étapes principales :

- 1) Implémentation d'une ontologie globale qui couvre les modèles existants ;
- 2) Implémentation d'une ontologie locale pour chaque modèle
- 3) Définition des correspondances entre les ontologies.

Les correspondances établies entre les ontologies (globale / locales) peuvent permettre le partage et la réutilisation des objets d'apprentissage à travers les entrepôts d'objets d'apprentissage.

Pour rendre les modèles interopérables, le modèle ALOCOM définit les niveaux de granularité et concepts qui sont présents dans ces modèles et leurs interrelations. À titre d'exemple, les deux (2) figures suivantes montrent respectivement les niveaux d'agrégation et les concepts définis par ALOCOM pour permettre les modèles Learnativity, dLCMS, PaKMaS et SLM d'être interopérables.

Figure 2.20 Les niveaux d'agrégation de ALOCOM pour l'interopérabilité entre les modèles : Learnativity, dLCMS, PaKMaS et SLM (Verbert, 2008)

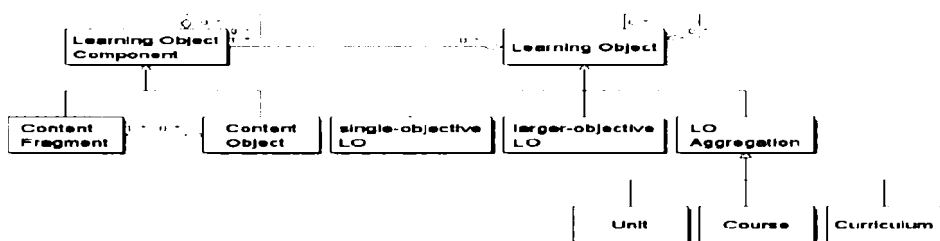
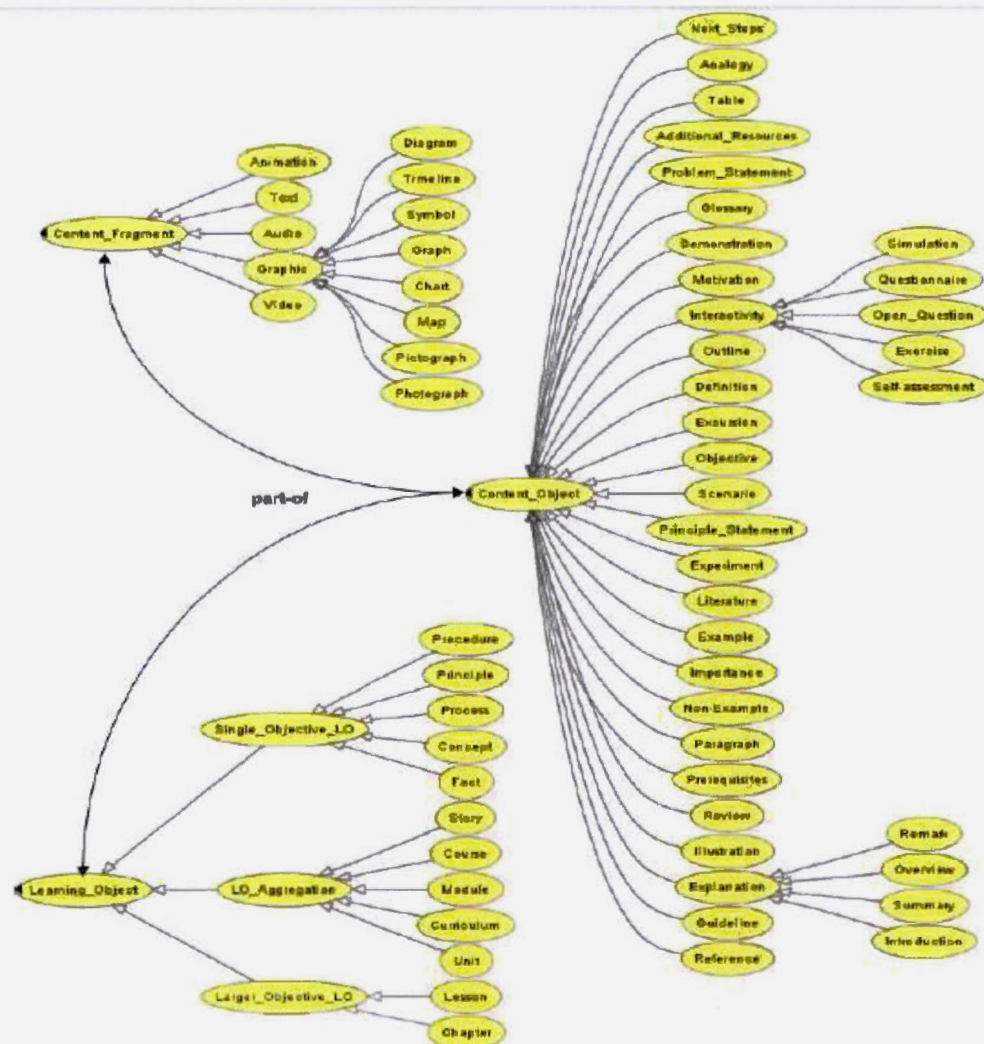


Figure 2.21 Les concepts de ALOCOM pour l'interopérabilité entre les modèles :
Learnativity, dLCMS, PaKMaS et SLM (Verbert, 2008)



2.3.5 En Résumé

Le problème de la création de matériel d'apprentissage peut être résolu soit en utilisant un environnement de création ou par la réutilisation des ressources existantes. Ces ressources peuvent être dédiées à la formation (pédagogique matériel), mais peuvent également prendre la forme de documents du domaine tels que les

rapports ou des notes. En fait, travailler avec du contenu préexistant est rentable et les communautés ont beaucoup de documents électroniques qui peuvent être réutilisés (Zouaq et Nkambou, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c).

Les projets de recherche SeLeNe, Trial Solution, IMAT, et ALOCOM se sont concentrés davantage sur le matériel de formation et sur la génération des métadonnées des objets d'apprentissage et les ontologies proposées pour améliorer ces métadonnées ou leur interopérabilité, ils ont cependant négligé l'utilisation des ontologies pour décrire le contenu d'apprentissage des objets résultant à un « vide sémantique » pour l'ancrage du contenu.

Le projet SeLeNe n'exploite pas une ontologie de domaine, alors que "*Knowledge Puzzle Content Model*" (Zouaq et Nkambou, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c) qui servira de base pour notre modèle le fait. La solution de Trial utilise un thésaurus (une liste organisée de termes contrôlés et normalisés) que sa connaissance du domaine tente de classer les documents en recherchant le document pour une liste de phrases et de mots clés fournis. Ce thésaurus du domaine (ou ontologie légère) ne reflète pas automatiquement de nouvelles connaissances de domaine. Tous les projets ont pour objectif de créer une sorte de dépôt d'objets d'apprentissage dont l'objectif est de constituer une mémoire d'objets de connaissance (mémoire organisationnelle) qui peut être utilisée pour assembler dynamiquement des objets d'apprentissage (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c).

Ainsi, "*Knowledge Puzzle Content Model*" (dont les détails seront donnés dans le chapitre suivant et qui servira de cadre méthodologique de notre modèle proposé) est le modèle qui a pu représenter le contenu d'un document sous forme d'une carte de concepts et générer une ontologie de domaine, à travers un outil de traitement de langage naturel. Ce qui n'est pas tout à fait le cas pour les projets cités précédemment. Dans ce modèle, l'accent a été non seulement mis sur l'indexation des

documents sources, mais aussi, sur la composition automatique d'objets d'apprentissage basée sur la mémoire organisationnelle (Zouaq et Nkambou, 2008, 2009a, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c)

CHAPITRE III

MODÈLE PROPOSÉ

Dans le cadre de ce travail, le modèle que nous proposons est un modèle de *composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies et les théories pédagogiques*. Ce quatrième chapitre donne une présentation générale de notre solution; les aspects suivants sont abordés:

- ✓ Le cadre méthodologique de notre modèle : le modèle "Knowledge Puzzle Content Model", une vue d'ensemble et l'architecture générale ;
- ✓ L'extension du cadre méthodologique ;
- ✓ La réalisation du prototype : une vue d'ensemble, l'architecture générale, la conception et l'implémentation.

3.1 Cadre méthodologique : le modèle "Knowledge Puzzle Content Model"

3.1.1 Vue d'ensemble

« The Knowledge Puzzle » est une architecture intégrée qui s'appuie sur diverses ontologies pour créer et annoter des ressources d'apprentissage selon divers aspects, et qui permet de composer automatiquement de nouvelles ressources d'apprentissage. Ces ressources doivent pouvoir pallier aux limites des objets d'apprentissage existants à savoir l'aspect de boîte noire tant au niveau domaine que pédagogique et l'aspect statique (Zouaq, 2007).

3.1.2 Architecture générale

L'architecture "Knowledge Puzzle Content Model" est une plateforme fondée sur les ontologies, conçue pour faciliter l'acquisition de connaissance de domaine à partir des documents textuels pour les systèmes à base de connaissances. Elle vise l'automatisation du processus d'acquisition des connaissances par la génération des cartes de concepts liées à l'ontologie du domaine. Comme toute acquisition des connaissances, l'avis des experts du domaine sur le processus de validation des résultats obtenus est obligatoire.

La plateforme "Knowledge Puzzle" fait appel à un nouveau modèle de contenu "Knowledge Puzzle Content Model" (KPCM) qui utilise les ontologies pour modéliser les ressources d'apprentissage à partir du contenu annoté. Ces unités de connaissances annotées sont stockées dans une mémoire organisation prête à servir dans un environnement informatique d'apprentissage humain (Systèmes Tutoriels Intelligent ou eLearning).

Il est très important de mentionner que ces annotations permettent la composition automatique des objets d'apprentissage selon les rôles pédagogiques obtenus à travers les règles sémantiques. Les objets d'apprentissage et de connaissances ont été standardisés pour les rendre compatible au standard SCORM.

Les figures suivantes montrent respectivement l'architecture générale du "Knowledge Puzzle" et le processus de génération de l'ontologie de domaine à travers l'outil TEXCOMON¹⁰.

¹⁰ Cet outil est destiné à générer une ontologie du domaine à partir de textes et plus particulièrement à partir d'objets d'apprentissage textuels provenant de la formation à distance.

Figure 3.1 Architecture générale de la composition automatique des objets d'apprentissage (Zouaq et Nkambou, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a)

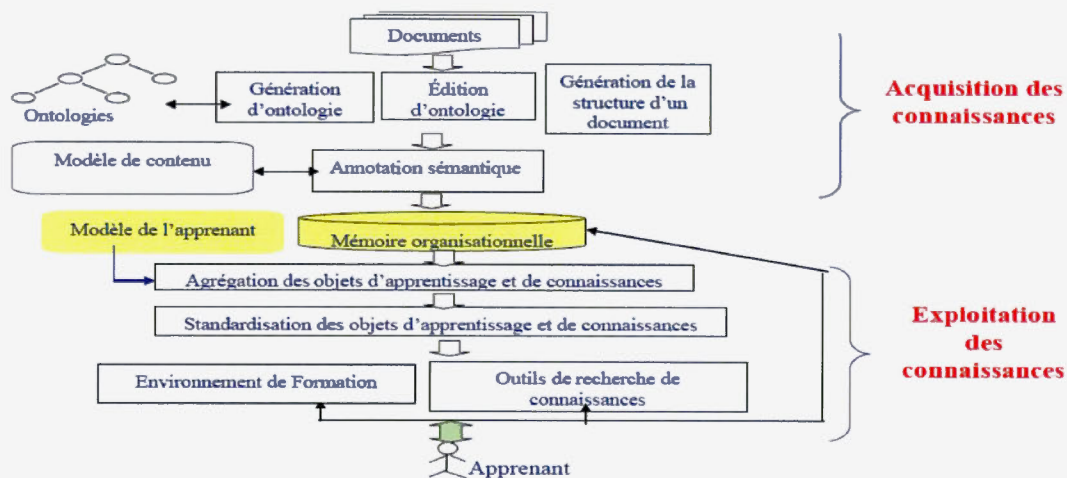
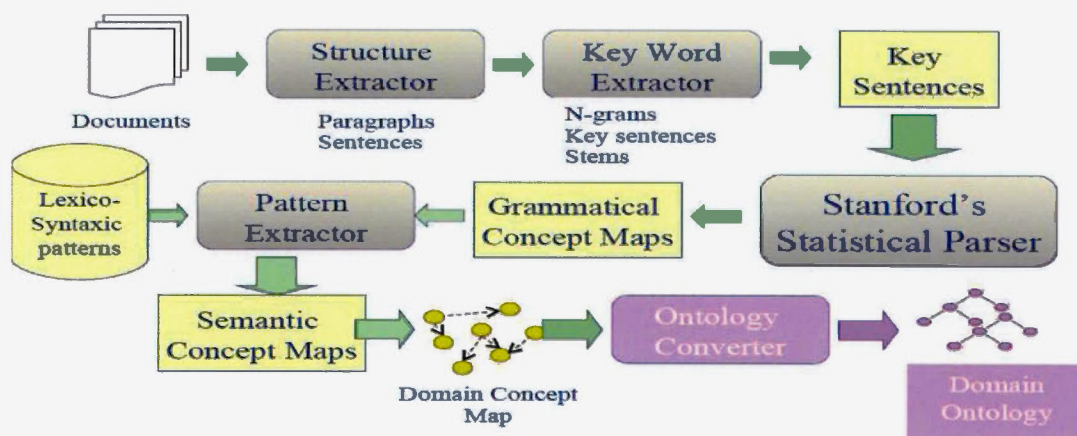


Figure 3.2 Processus d'acquisition de l'ontologie de domaine à travers l'outil TEXCOMON (Zouaq et Nkambou, 2009b ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a)



3.1.3 Pourquoi "Knowledge Puzzle Content Model"

Tout d'abord, j'aimerais préciser ici quelques éléments qui ont motivés mon choix. Après lecture du document "An Integrated Approach for Automatic Aggregation of Learning Knowledge Objects" publié par Zouaq, Roger Nkambou, et Claude Frasson, j'ai été, tout de suite, impressionné par cette plateforme bâtie sur de multiples facettes d'ontologies avec plusieurs possibilités d'indexage. Les objets d'apprentissage et de connaissances (Learning Knowledge Object) générés par cette plateforme peuvent servir d'entrée (input) aussi bien aux Systèmes tutoriels intelligents qu'aux systèmes de eLearning. Ce modèle est une bonne référence pour une composition d'objets d'apprentissage basée sur les ontologies de domaine et également une bonne fondation pour l'approche proposée dans ce document.

Sans vouloir aller dans les détails de réalisation de cette plateforme, dont les processus d'analyse, de conception et d'implantation sont amplement expliqués dans (Zouaq et Nkambou, 2009b, 2009a ; Zouaq, Nkambou et Frasson, 2007a, 2007c). Mon travail se limitera à un résumé tout en relatant les éléments nouveaux apportés par cette approche par rapport aux autres existantes.

¹¹Le projet "Knowledge Puzzle", qui a abouti à la réalisation d'une plateforme du même nom, propose d'établir une base de connaissance qui est utilisable par les deux communautés (Système Tutoriel Intelligent et ELearning) ayant comme pièce centrale : *ontologie de domaine*. Cette ontologie du domaine constituée d'une carte de concepts est générée à travers l'outil TEXCOMON (TEXt-CONcept Map-Ontology) qui prend en entrée un document texte (voir *démo à l'adresse suivante* : <http://gdac.dinfo.uqam.ca/amal/demo/kp.swf> [dernier accès décembre 2013]). Hormis de l'ontologie de domaine, la plateforme utilise également d'autres ontologies qui sont :

¹¹ <http://gdac.dinfo.uqam.ca/inf7470/ieeeTLTarticleAmalRoger.pdf>

- ✓ Ontologie de la structure du document ;
- ✓ Ontologie des rôles pédagogiques ;
- ✓ Ontologie de l'organisation ;
- ✓ Ontologie des compétences.

Par rapport aux plateformes et/ou projets existants, le "Knowledge Puzzle" en plus de permettre la génération des cartes de concepts et d'ontologies du domaine à partir de textes, introduit un nouveau modèle de contenu (KPCM) qui permet de subdiviser les objets de connaissances en :

- ✓ Ressources numériques élémentaires (Assets) qui représentent la partie structurelle d'un document (paragraphe, sections, images, etc.) ;
- ✓ Objets de connaissance (Knowledge Objects) qui résultent du processus d'acquisition décrit (structure + cartes de connaissances) ;
- ✓ Catégories de ressources numériques élémentaires (Asset categories) qui représentent les différents rôles pédagogiques dans un document (Ontologie des rôles pédagogiques).

L'architecture "Knowledge Puzzle" avec l'introduction de plusieurs ontologies dans la composition automatique des objets d'apprentissage permet de représenter l'ensemble des connaissances d'un domaine en une spécification explicite et formelle. Elle permet de montrer les relations ainsi que les règles d'associations qui existent entre ces concepts en vue de permettre d'une part à l'ordinateur la génération de nouvelles connaissances par le biais d'une inférence, et d'autre part à l'homme et à l'ordinateur d'accorder des sens communs aux termes utilisés dans un domaine d'activité afin de lever toute ambiguïté pendant les traitements.

Mais l'ajout des théories pédagogiques comme entrée dans la génération de ces objets d'apprentissage ne peut que faciliter l'apprentissage au niveau des humains et

également l'intégration de ces objets comme éléments pertinents dans d'autres systèmes et c'est ce modèle que nous proposons dans ce travail.

3.2 Extension du cadre méthodologique

L'absence des théories pédagogiques explicites pour la composition automatique des scénarios d'apprentissage est l'un des problèmes classiques connu dans l'apprentissage en ligne (Psyché *et al.*, 2005 ; Ullrich, 2004 ; Zouaq, 2007). Même si ces théories existent, le concepteur de l'objet d'apprentissage l'indique seulement implicitement par les choix pédagogiques qu'il effectue (Ullrich, 2004, 2005). Or cela peut constituer un obstacle à des programmes automatiques pour la recherche d'objets d'apprentissage pertinents, pour l'agrégation automatique d'objets d'apprentissage ou encore pour l'explicitation du contenu d'un objet d'apprentissage. La génération de ressources doit donc s'appuyer sur des théories d'apprentissage. En 2004, les chercheurs Bourdeau, Mizoguchi, Psyché, et Nkambou évoquent d'ailleurs la nécessité de l'incorporation de structures conceptuelles communes pour modéliser les théories d'apprentissage et indiquent que ces structures doivent être encodées de manière déclarative afin de pouvoir désigner le système comme expert pédagogique conscient des théories qu'il peut mettre en œuvre (*theory-aware*) (Bourdeau *et al.*, 2004 ; Psyché *et al.*, 2005).

Basé sur le modèle de contenu "Knowledge Puzzle Content Model", Le modèle proposé dans le cadre de ce travail ajoute de façon explicite les théories pédagogiques en entrée comme paramètre supplémentaire pour la composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies du domaine, une telle approche permettra d'enrichir les possibilités de composition de ces objets de haute qualité et bien adapté au profil d'un apprenant ou d'un ensemble d'apprenants tout en gardant l'emphase sur la réutilisation et l'interopérabilité.

Conscient que chaque apprenant a son style d'apprentissage, et dans le souci de donner un apprentissage adapté à ce dernier, notre organisation des scénarios

d'apprentissage (ensemble d'objets d'apprentissage) se fait selon les principes pédagogiques. Bien que complexe, cette organisation peut se faire selon les différents modèles définis (la taxonomie de Bloom, la taxonomie de Gagné R., le modèle de Gagné et Brigg, etc.) à travers les trois (3) grands paradigmes des théories pédagogiques en inférant avec une ontologie des théories pédagogique telle OMNIBUS¹². Notre modèle simule l'organisation des objets d'apprentissage selon les méthodes pédagogiques recommandées des trois (3) paradigmes des théories pédagogiques de la façon suivante :

- 1) **Béhaviorisme**, les méthodes pédagogiques recommandées sont l'exposé, la pratique répétée et le renforcement. Par conséquent, le scénario d'apprentissage est composé d'un ensemble d'objets d'apprentissage organisés de la façon suivante : (1) *Définition claire de l'objectif d'apprentissage* → (2) *Exposé magistral (Tutoriels)* → (3) *Exercices* → (4) *Évaluation par rapport à l'objectif* (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Duffy et Jonassen, 1992 ; Jonassen, 1991 ; Jonassen, Mayes et McAleese, 1993 ; Mergel, 1998).
- 2) **Cognitivisme**, ayant un point commun avec le béhaviorisme qui est l'existence de la réalité objective externe, les méthodes pédagogiques recommandées sont l'enseignement individualisé, interactif et stratégique. Ainsi, le scénario d'apprentissage (très proche de celui du béhaviorisme) est composé d'un ensemble d'objets d'apprentissage organisés de la façon suivante : (1) *Définition claire de l'objectif d'apprentissage* → (2) *Tutoriels intelligents / simulation / images /diagramme* → (3) *Exemples / Exercices* → (4) *Évaluation par rapport à l'objectif* (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Duffy et Jonassen, 1992 ; Jonassen, 1991 ; Jonassen, Mayes et McAleese, 1993 ; Mergel, 1998).

¹² Développé par Jacqueline Bourdeau and Riichiro Mizoguchi

- 3) **Constructivisme**, les méthodes pédagogiques recommandées sont l'enseignement-soutien, stimuler la curiosité de l'apprenant, mettre ses conceptions à l'épreuve, le guider au besoin, l'orienter non pas vers des buts d'enseignement définis à l'avance mais vers l'élaboration d'une interprétation personnelle des choses. Une vision constructiviste de l'éducation valorise donc une pédagogie active, non directive et donne priorité à des aspects tels qu'un contexte réel d'apprentissage, un enseignement-soutien plutôt qu'un enseignement-intervention, la découverte guidée, l'encouragement à explorer divers points de vue sur un thème, l'apprentissage collaboratif, une approche par projet : (1) *Multiplés présentations de la réalité* → (2) *Exploration des hyperliens / hypermédias / découverte guidée / projets / étude de cas* → (3) *Auto-évaluation / évaluation en ligne* (Basque, Rocheleau et Winer, 1998 ; Duffy et Jonassen, 1992 ; Jonassen, 1991 ; Jonassen, Mayes et McAleese, 1993 ; Mergel, 1998).

En ajoutant les théories pédagogiques comme entrée dans une telle composition, le concept d'objet d'apprentissage parvient à unir les efforts poursuivis par les différents groupes d'intérêt parce qu'il rassemble un certain nombre d'atouts reconnus à différents niveaux : économique, pédagogique ou technique.

Au niveau économique, le développement de produits ou services reposant sur l'assemblage et la réutilisation de composants s'est largement répandu. Dans le domaine de l'éducation, un des objectifs principaux de consortium tels que IMS consiste à créer les conditions d'apparition d'un marché concurrentiel de la formation "en ligne", où chaque "opérateur" fournirait sa propre offre de formation (Pernin, 2003a). Afin d'assurer la rentabilité de ce marché, il faut diminuer les coûts de production des cours en ligne sans diminuer la qualité de la formation (Downes, 2001). Pour obtenir une diminution significative, il est nécessaire d'identifier ce que les différents cours ont en commun afin de développer des composants de haute

qualité, "réutilisables" et "partageables" par chacun (Forte, Wentland Forte et Duval, 1997).

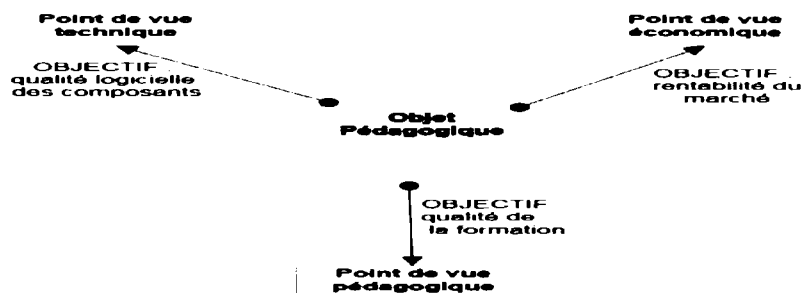
Au niveau pédagogique, le concept d'objet s'accorde bien avec les notions de "formation tout au long de la vie" et de "parcours individualisé à la carte" (Pernin, 2003a). En effet, de nombreuses recherches visent aujourd'hui à améliorer la qualité de la formation en fournissant à chaque apprenant une solution personnalisée prenant en compte un ensemble de facteurs tels que son niveau initial, ses objectifs, son style d'apprentissage, sa disponibilité, son éloignement, etc. Construire une offre de formation revient alors à assembler un ensemble de composants adaptés aux besoins spécifiques de l'apprenant. La création "sur mesure" de nouveaux composants pour un seul ou pour un nombre restreint d'apprenants étant forcément très coûteuse en temps et en argent, on privilégiera aussi souvent que possible le développement d'objets pédagogiques réutilisables et adaptables. Les notions d'hypermédias adaptatifs et de documents virtuels personnalisables constituent des illustrations de ce type d'approche (Vaudry *et al.*, 2002).

Au niveau technique, les apports de l'approche par objets dans le domaine du génie logiciel sont indiscutables (Pernin, 2003a). Depuis plus de dix ans, cette approche s'est généralisée et a été formalisée en particulier au travers de la méthode UML (Unified Modelling Language). Les notions de base sont la notion d'*abstraction* (tout objet est créé par instanciation à partir d'une classe, description abstraite d'objets partageant les mêmes propriétés et fournissant les mêmes services), l'*encapsulation* (un objet ne peut communiquer que par l'envoi de message activant un service d'un autre objet) et l'*héritage* (on peut créer une sous-classe par raffinement d'une autre classe). L'application de l'approche par objets dans le domaine des composants pédagogiques a contribué à la volonté d'en décrire précisément les caractéristiques et les services afin d'en assurer le partage et la réutilisation (Downes, 2001 ; Forte, Wentland Forte et Duval, 1997). Aujourd'hui, malgré l'engouement généralisé, il est

n'est pas sûr que les principes fondateurs du paradigme par objet s'appliquent aux visions communes des objets pédagogiques (en particulier la notion d'héritage).

La figure ci-dessous précise la position centrale du concept d'objet pédagogique, mais démontre également qu'il focalise un ensemble d'attentes implicites parfois contradictoires de la part des différents acteurs de la formation. Il en résulte un ensemble de tensions autour du concept qui ne pourront être résolues qu'en disposant d'un vocabulaire commun : **ontologie**.

Figure 3.3 **Objet d'apprentissage ou objet pédagogique selon les 3 visions (Pernin, 2003a).**



L'idée étant de créer des scénarios pédagogiques flexibles en plus de leur encrage sémantique garanti par le référencement sémantique des ressources à l'aide de l'ontologie du domaine.

3.3 Conception générale du modèle

3.3.1 Vue d'ensemble

Le modèle suggéré permet de composer automatiquement les objets d'apprentissage selon un besoin et une théorie pédagogique choisis par l'apprenant. Pour répondre au besoin de l'apprenant, le modèle identifie les ressources pertinentes, les organise en scénario et permet la visualisation de ce scénario par l'apprenant.

3.3.2 Architecture générale

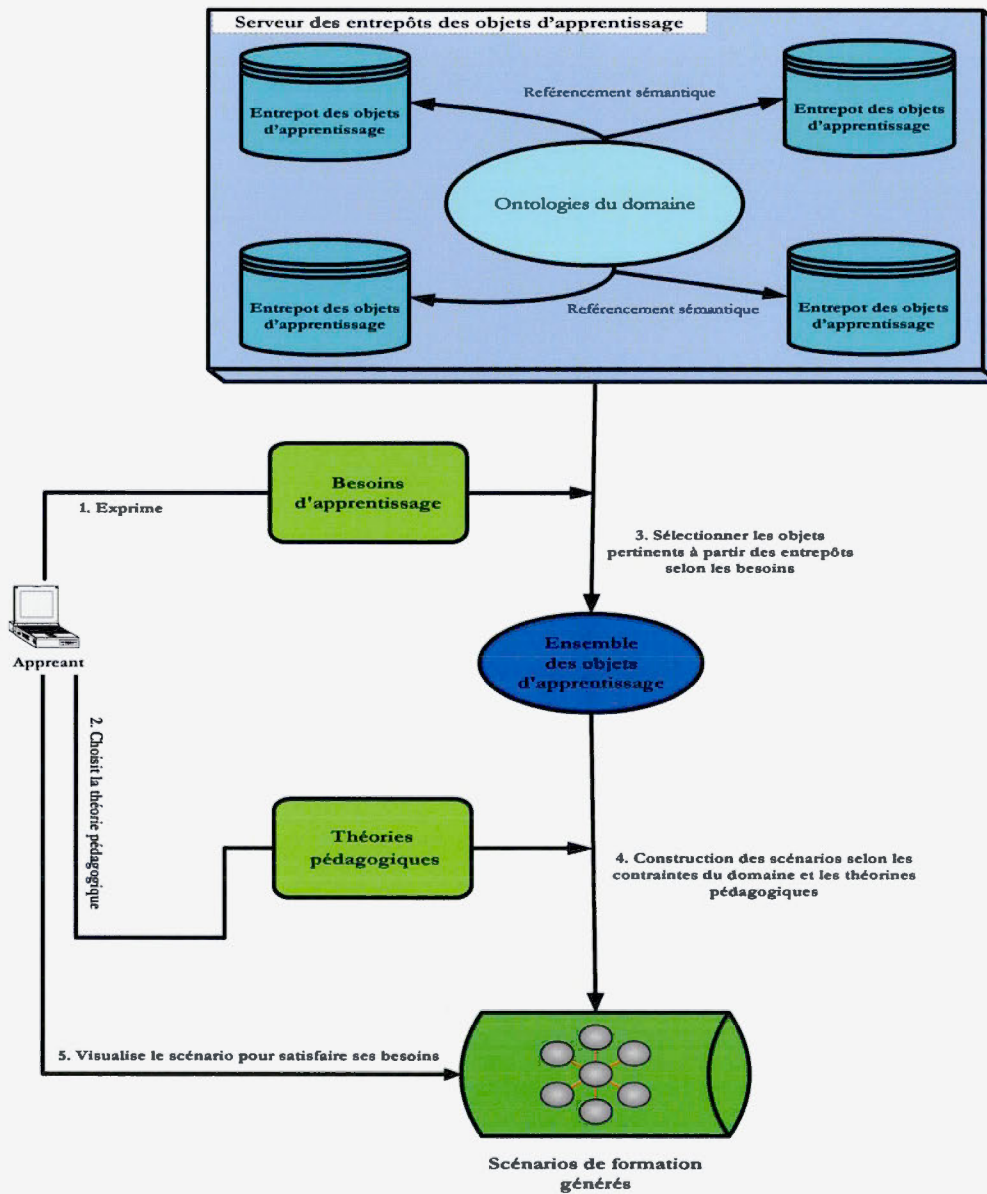
Dans le modèle proposé, en plus des ontologies du domaine, les théories pédagogiques joueront un rôle primordial dans la prise de décision pour l'organisation des scénarios dédiées à l'enseignement direct (utilisé par les humains) ou indirect (utilisé par un autre système).

Dans ce modèle, l'architecture générale fonctionne comme suit :

- 1) Les entrepôts d'objets d'apprentissage (documents électroniques) sont référencés sémantiquement selon les ontologies du domaine en utilisant l'approche du modèle de contenu "Knowledge Puzzle Content Model" ;
- 2) Selon les besoins d'apprentissage d'un apprenant, la sélection et la composition des ressources pertinentes sont faites. Ce processus aboutira à l'obtention d'un ensemble de ressources pertinentes pour répondre aux besoins spécifiés ;
- 3) Selon les théories ou principes pédagogiques choisis par l'apprenant, les ressources sélectionnées seront organisées en scénarios de formation. La contrainte du domaine d'apprentissage influencera aussi la construction des scénarios ;
- 4) Les scénarios de formation obtenus peuvent non seulement répondre aux besoins de formation spécifique d'un apprenant, mais il peut aussi être utilisé comme entrée dans d'autres systèmes éducatifs.

Selon le fonctionnement de l'architecture ci-dessus décrit, on comprend bien que les résultats du modèle "Knowledge Puzzle" nous permettent de construire des banques d'objets d'apprentissage annotées selon un domaine bien spécifique. Ces annotations, selon les rôles pédagogiques obtenus à travers les règles sémantiques, permettent des recherches plus ciblées, favorisent donc une plus grande réutilisation tout en évitant la duplication de la même connaissance et en facilitant les mises à jour de ces banques d'objets. La figure suivante montre l'architecture générale de notre modèle.

Figure 3.4 Architecture générale de la composition automatique des objets d'apprentissage fondée sur les ontologies et les théories pédagogiques



3.3.3 Formalisation

Avant d'aborder la réalisation du prototype, nous jugeons nécessaire de formaliser certaines notions du modèle en répondant aux questions suivantes:

- ✓ Qu'est ce qu'un besoin ?
- ✓ Qu'est ce qu'un objet d'apprentissage (OA)?
- ✓ Qu'est ce qu'un objet d'apprentissage pertinent pour un besoin ?
- ✓ Qu'est ce qu'une couverture complète d'un besoin ?

Ces définitions formelles et les règles associées seront très utilisées dans la présentation de nos algorithmes.

3.3.3.1 Les besoins de formation

Un besoin B est défini comme un ensemble de concepts c d'un domaine précis D dont un apprenant désire apprendre. Ainsi, $B = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ avec $c_i \in D$. De cette définition découlent quelques règles :

- 1) *Règle de besoin vide* : L'ensemble des concepts d'un besoin défini par un apprenant ne peut pas être vide.
- 2) *Règle de besoin infini* : L'ensemble des concepts d'un besoin défini par un apprenant ne peut pas être infini.

3.3.3.2 Objet d'apprentissage (OA) et référencement sémantique

Sachant qu'un objet d'apprentissage (OA) est une unité de connaissances intégrée, reliée à une discipline ou à un sujet, nous définissons f une fonction qui associe à chaque OA l'ensemble des concepts qu'il couvre. Cette fonction, qui réalise le référencement sémantique, est définie comme suit :

$$f : E \rightarrow 2^C$$

$$x \rightarrow f(x)$$

avec E l'entrepôt des OA, que nous représentons comme un ensemble, C l'ensemble de tous les concepts du domaine, $x \in E$ (un objet d'apprentissage quelconque). Elle associe à un OA donné l'ensemble des concepts qui lui sont associés.

- 1) *Règle d'objet d'apprentissage vide* : $\forall x \in E, f(x) \neq \emptyset$.
- 2) *Règle d'objet d'apprentissage infini* : L'ensemble des concepts liés à un OA ne peut pas être infini.
- 3) *Règle d'équivalence entre deux (2) objets d'apprentissage* : Deux (2) OA x, y sont équivalents si et seulement si, ils couvrent le même domaine. Autrement dit $f(x) = f(y)$.
- 4) *Règle d'objet d'apprentissage général* : Un OA x est plus général qu'un OA y si et seulement si $f(y) \subset f(x)$.
- 5) *Règle de préséance entre deux (2) objets d'apprentissage* : Nos objets d'apprentissage sont référencés sémantiquement selon l'ontologie du domaine. Les liens de préséance sont induits entre les objets d'apprentissage via leur relation avec l'ontologie du domaine. Soient x et y , deux (2) OA, x a le droit de préséance sur y , si et seulement si x doit être présenté à l'apprenant avant y . Autrement dit x a la priorité d'être appris par l'apprenant avant y .

3.3.3.3 Les relations entre un besoin et un OA

Dans cette section, nous définissons quelques règles sur les relations entre un besoin et un OA comme : pertinence d'un OA par à un besoin donné, la couverture d'un besoin.

- 1) *Règle de pertinence d'un objet d'apprentissage* : Pour un besoin donné B , un OA x est pertinent pour B si et seulement si $B \cap f(x) \neq \emptyset$.

- 2) *Règle de couverture complète d'un besoin* : Pour un besoin donné B, on parle de couverture complète de ce besoin, s'il existe $E_1 \subset E$ (l'ensemble de tous les OA), un sous ensemble de OA tel que $B \subseteq \bigcup f(x_i)$ où $i = 1.. |E_1|$ avec $x_i \in E_1$. On dira alors que E_1 est une couverture complète de B (que nous noterons C_B).
- 3) *Règle d'exclusion d'un objet d'apprentissage* : Soient x, y deux (2) OA pertinents pour un besoin B donné, si x est plus général que y, on peut exclure y de la solution d'apprentissage du besoin B.

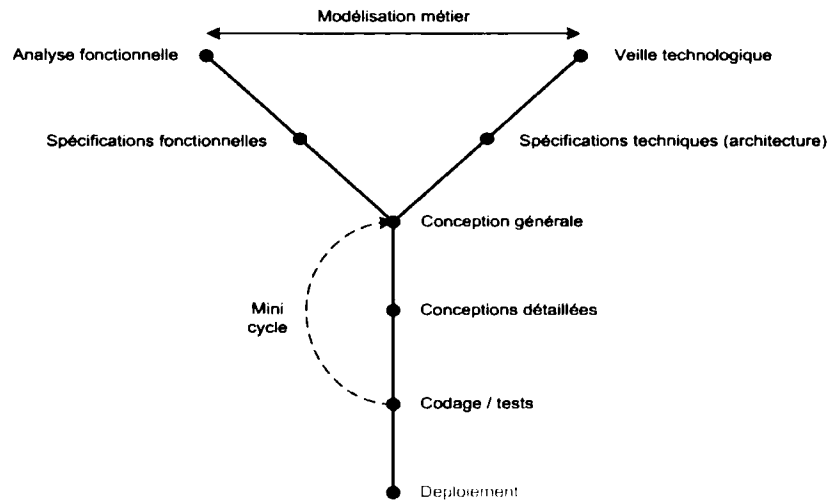
Cette formalisation est partielle et limitée à nos besoins pour l'élaboration de notre prototype. Néanmoins une formalisation plus complète pourrait être envisagée dans le cadre d'une amélioration future en ajoutant entre autre : la formulation de la satisfiabilité d'un besoin (partielle ou complète), les considérations temporelles (ex. le temps d'apprentissage requis pour un besoin), etc.

3.3.4 Réalisation du prototype

Le développement de notre prototype suit le modèle en Y proposé par ¹³Pascal Roques et Franck Vallée (UML en action). La première branche du Y correspond à l'évaluation des technologies ; La seconde branche concerne l'analyse fonctionnelle. Sans appliquer de méthode formelle, car il ne s'agit que d'un prototype (un moteur de recherche), nous utilisons la méthodologie UML pour définir les éléments principaux qui constituent le squelette de la couche applicative. Les besoins fonctionnels sont exprimés sous la forme de cas d'utilisation en spécifiant le numéro d'identification, le nom, la description, les dépendances sur les autres cas d'utilisation et sur les interfaces graphiques, un diagramme, les acteurs, les pré-conditions, les étapes du scénario et les post-conditions. Nous ajoutons quelques diagrammes (classes, séquence, les algorithmes détaillés en pseudo-code pour clore cette section.

¹³ <http://www.valtech.fr>

Figure 3.5 Cycle de développement en Y (Roques et Vallée, 2011)



Lorsque les deux premières branches se rejoignent et que le cycle de développement poursuit son cours sur la branche principale, nous utilisons d'autres types de diagrammes UML. Les phases d'implémentation (de codage) et de tests se trouvent au bout de la branche principale.

3.3.4.1 Cas d'utilisation

Les besoins fonctionnels couverts par notre prototype peuvent être classés en cinq (5) cas d'utilisations qui sont :

- 1) Composer les objets d'apprentissage ;
- 2) Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin donné ;
- 3) Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine ;
- 4) Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique ;
- 5) Visualiser un scénario d'apprentissage.

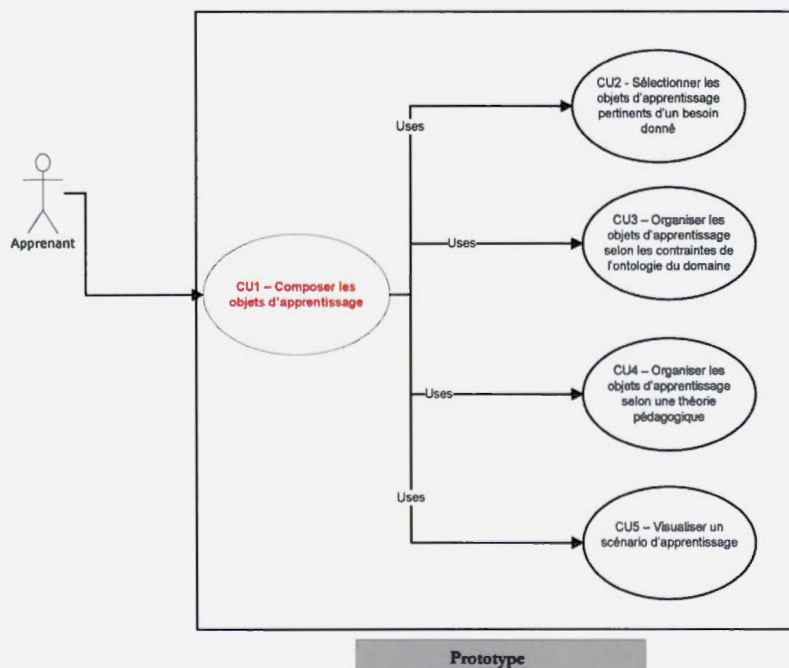
3.3.4.1.1 Cas d'utilisation 1 (CU1) : Composer les objets d'apprentissage

1) Identification et description du cas d'utilisation

Numéro d'identification	CU1
Nom	Composer les objets d'apprentissage
Description	Selon un besoin d'apprentissage et une théorie pédagogique spécifiés par un apprenant à travers l'interface graphique, composer les objets d'apprentissage basé sur les ontologies du domaine, la théorie pédagogique choisie, et visualiser le scénario d'apprentissage.
Dépendances	CU2 - Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin donné, CU3 - Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine, CU4 - Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique, CU5 - Visualiser un scénario d'apprentissage.
Lié à une interface graphique	Oui. L'interface de recherche principale.

2) Diagramme

Figure 3.6 Diagramme de cas d'utilisation CU1



3) Acteurs

Acteurs	Description
Apprenant	Un utilisateur qui a accès au prototype et qui désire visualiser un scénario d'un besoin précis basé les ontologies du domaine et une théorie pédagogique.
Prototype	Système de composition des objets d'apprentissage basée les ontologies du domaine et les théories pédagogiques.

4) Pré-conditions

À partir l'interface de recherche du prototype, l'apprenant spécifie le domaine, ses besoins d'apprentissage, et la théorie pédagogique à appliquer.

5) Étapes du scénario

Étape	Acteur	Description
1	Apprenant	À partir de l'interface de saisie des données de recherche, l'apprenant sélectionne le domaine d'apprentissage qui l'intéresse.
2	Prototype	Valide l'existence du domaine Si le domaine n'existe pas ➤ un message d'information est affiché et la recherche prend fin. Sinon ➤ on continue à l'étape suivante
3	Apprenant	À partir de l'interface de saisie des données de recherche, l'apprenant : ➤ spécifie les concepts de son besoin ➤ choisit la théorie pédagogique ➤ clique sur le bouton "Composer"
4	Prototype	Appelle le cas d'utilisation CU2 (<i>Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin d'apprentissage donné</i>), Obtiens un ensemble d'objets d'apprentissage pertinents à partir de UC2 Si l'ensemble des ressources pertinentes est vide ➤ un message d'information est affiché et la recherche prend fin. Sinon ➤ on continue à l'étape suivante

5	Prototype	Appelle le cas d'utilisation CU3 (<i>Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine</i>) Obtiens un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage à partir de UC3
6	Prototype	Appelle le cas d'utilisation CU4 (<i>Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique</i>) Obtiens un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage à partir de UC4
7	Prototype	Appelle le cas d'utilisation CU5 (<i>Afficher un scénario d'apprentissage</i>) pour afficher le scénario d'apprentissage sous format de graphe
8	Apprenant	Visualise le scénario d'apprentissage
		Fin du cas d'utilisation

6) Post-conditions

Le scénario d'apprentissage (basé sur les ontologies du domaine et sur les théories pédagogiques) pour répondre aux besoins est affiché sous format de graphe. L'apprenant est en mesure d'apprendre le scénario d'apprentissage.

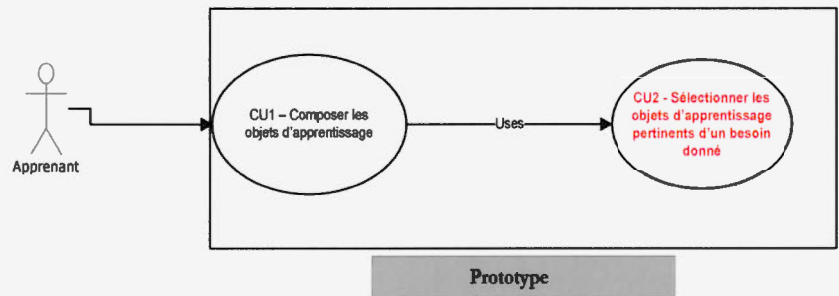
3.3.4.1.2 Cas d'utilisation 2 (CU2) : Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin donné

1) Identification et description du cas d'utilisation

Numéro d'identification	CU2
Nom	Sélectionner les objets d'apprentissage pertinents d'un besoin donné.
Description	Sélectionner les ressources pertinentes à partir des entrepôts des objets d'apprentissage référencés selon l'ontologie du domaine pour répondre à un besoin donné.
Dépendances	Ce cas d'utilisation n'a aucune dépendance sur un autre cas d'utilisation en aval, mais en amont, il est utilisé par le cas d'utilisation CU1.
Lié à une interface graphique	Aucune

2) Diagramme

Figure 3.7 **Diagramme de cas d'utilisation CU2**



3) Acteurs

Acteurs	Description
Apprenant	Un utilisateur qui a accès au prototype et qui désire visualiser un scénario d'un besoin précis basé les ontologies du domaine et une théorie pédagogique.
Prototype	Système de composition des objets d'apprentissage basée les ontologies du domaine et les théories pédagogiques.

4) Pré-conditions

Le cas d'utilisation CU2 est initié par un apprenant à travers CU1.

5) Étapes du scénario

Étape	Acteur	Description
1	Apprenant	Initie le cas d'utilisation CU1.
2	Prototype	Sélectionne toutes les objets d'apprentissage à partir des entrepôts dont les concepts sont inclus dans l'ensemble des concepts du besoin spécifié
		Retourne un ensemble d'objets d'apprentissage pertinents basé sur les ontologies du domaine
		Fin du cas d'utilisation

6) Post-conditions

Un ensemble d'objets d'apprentissage pertinents est retourné.

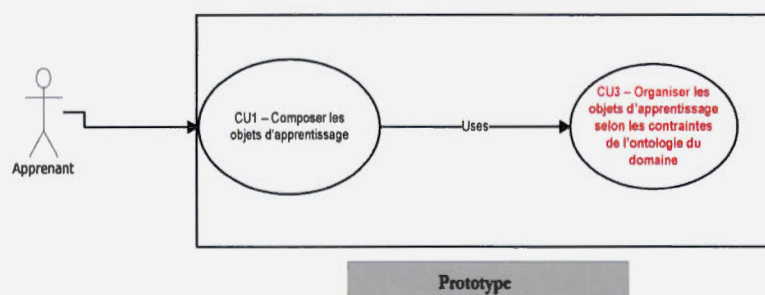
3.3.4.1.3 Cas d'utilisation 3 (CU3) : Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine

1) Identification du cas d'utilisation

Numéro d'identification	CU3
Nom	Organiser les objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine.
Description	Organiser ou ordonner un ensemble de ressources selon les ordres prédéfinis dans l'ontologie du domaine.
Dépendances	Ce cas d'utilisation n'a aucune dépendance sur un autre cas d'utilisation en aval, mais en amont, il est utilisé par le cas d'utilisation CU1.
Lié à une interface graphique	Aucune

2) Diagramme

Figure 3.8 Diagramme de cas d'utilisation CU3



3) Acteurs

Acteurs	Description
Apprenant	Un utilisateur qui a accès au prototype et qui désire visualiser un scénario d'un besoin précis basé les ontologies du domaine et une théorie pédagogique.
Prototype	Système de composition des objets d'apprentissage basée les ontologies du domaine et les théories pédagogiques.

4) Pré-conditions

Le cas d'utilisation CU3 est initié par un apprenant à travers CU1.

5) Étapes du scénario

Étape	Acteur	Description
1	Apprenant	Initie le cas d'utilisation CU1
2	Prototype	Ordonner un ensemble d'objets d'apprentissage selon les ordres prédéfinis dans l'ontologie du domaine ou induire les liens entre les objets d'apprentissage via leur relation avec l'ontologie du domaine Retourne un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine
		Fin du cas d'utilisation

6) Post-conditions

Un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage selon les contraintes de l'ontologie du domaine est retourné.

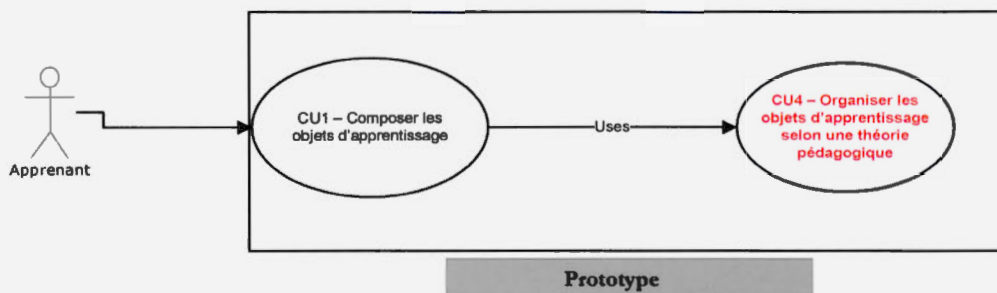
3.3.4.1.4 Cas d'utilisation 4 (CU4) : Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique

1) Identification du cas d'utilisation

Numéro d'identification	CU4
Nom	Organiser les objets d'apprentissage selon une théorie pédagogique.
Description	Organiser ou ordonner un ensemble d'objets d'apprentissage selon les principes de la théorie pédagogique choisie.
Dépendances	Ce cas d'utilisation n'a aucune dépendance sur un autre cas d'utilisation en aval, mais en amont, il est utilisé par le cas d'utilisation CU1.
Lié à une interface graphique	Aucune

2) Diagramme

Figure 3.9 Diagramme de cas d'utilisation CU4



3) Acteurs

Acteurs	Description
Apprenant	Un utilisateur qui a accès au prototype et qui désire visualiser un scénario d'un besoin précis basé les ontologies du domaine et une théorie pédagogique.
Prototype	Système de composition des objets d'apprentissage basée les ontologies du domaine et les théories pédagogiques.

4) Pré-conditions

Le cas d'utilisation CU4 est initié par un apprenant à travers CU1.

5) Étapes du scénario

Étape	Acteur	Description
1	Apprenant	Initie le cas d'utilisation CU1
2	Prototype	Ordonner un ensemble de ressources selon les principes de la théorie pédagogique choisie (béhaviorisme, cognitivisme et constructivisme). Ces principes sont précompilés à partir de l'ontologie des théories pédagogiques Omnibus
		Retourne un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage selon principes de la théorie pédagogique choisie.
		Fin du cas d'utilisation

6) Post-conditions

Un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage selon les principes de la théorie pédagogique choisie est retourné.

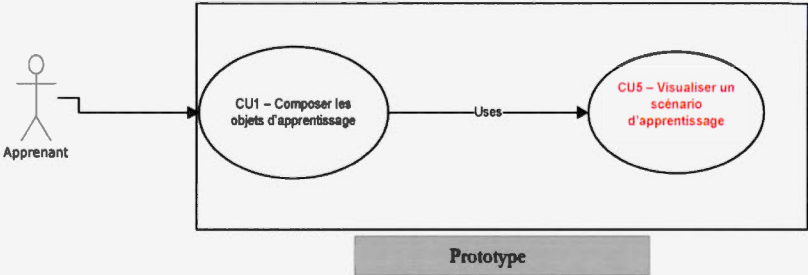
3.3.4.1.5 Cas d'utilisation 5 (CU5) : Visualiser un scénario d'apprentissage

1) Identification du cas d'utilisation

Numéro d'identification	CU5
Nom	Visualiser un scénario d'apprentissage.
Description	Afficher un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage sous forme de graphe.
Dépendances	Ce cas d'utilisation n'a aucune dépendance sur un autre cas d'utilisation en aval, mais en amont, il est utilisé par le cas d'utilisation CU1.
Lié à une interface graphique	Oui. L'interface d'affichage des scénarios d'apprentissage.

2) Diagramme

Figure 3.10 Diagramme de cas d'utilisation CU5



3) Acteurs

Acteurs	Description
Apprenant	Un utilisateur qui a accès au prototype et qui désire visualiser un scénario d'un besoin précis basé les ontologies du domaine et une théorie pédagogique.
Prototype	Système de composition des objets d'apprentissage basée les ontologies du domaine et les théories pédagogiques.

4) Pré-conditions

Le cas d'utilisation CU5 est initié par un apprenant à travers CU1.

5) Étapes du scénario

Étape	Acteur	Description
1	Apprenant	Initie le cas d'utilisation CU1
2	Prototype	Reçois un ensemble ordonné d'objets d'apprentissage Affiche les objets sous forme de graphe selon l'ordre prédéfini dans l'ensemble
3	Apprenant	Visualise le scénario d'apprentissage
		Fin du cas d'utilisation

6) Post-conditions

Le scénario d'apprentissage est affiché sous forme de graphe.

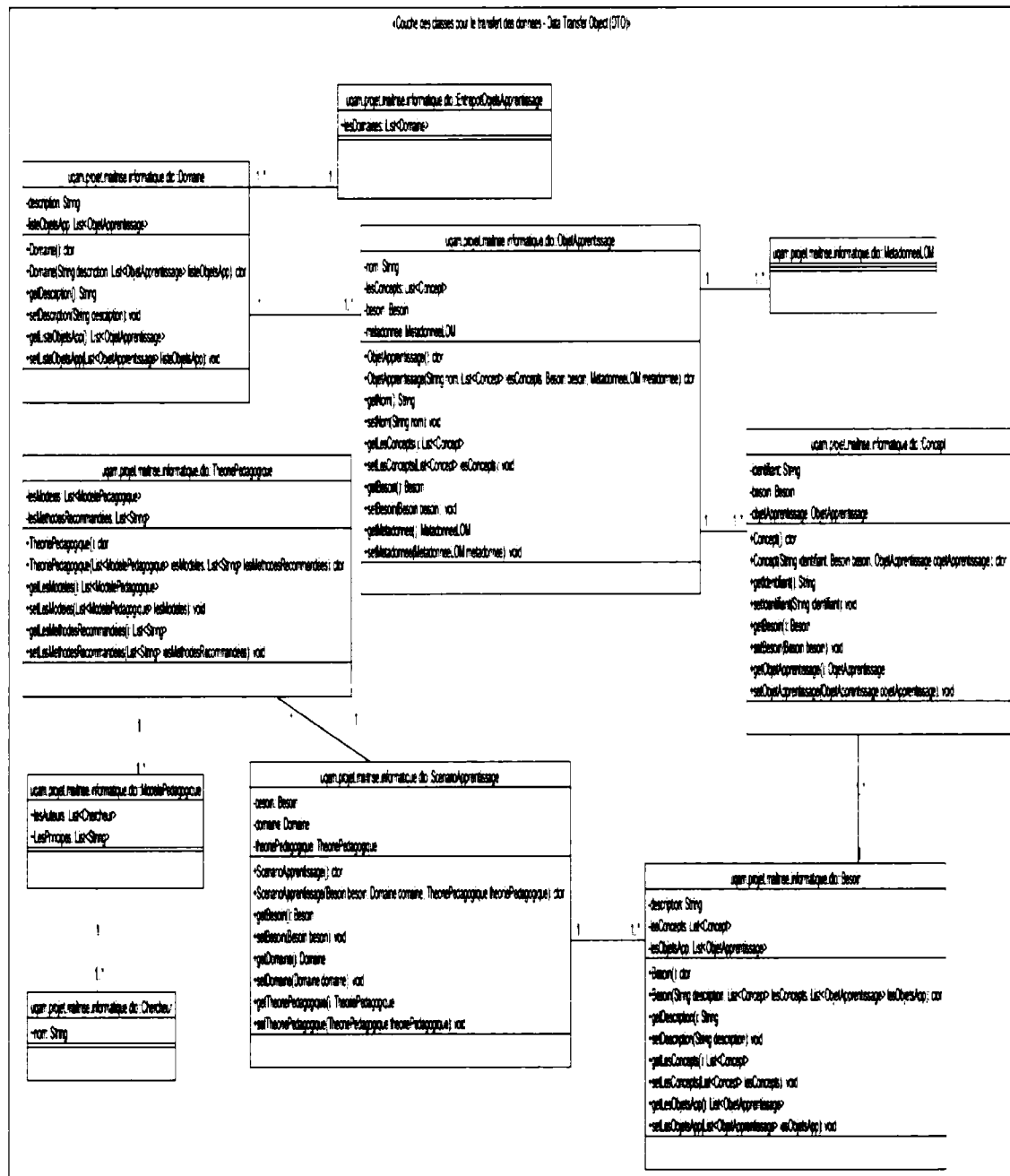
3.3.4.2 Diagramme de classe

Le prototype est bâti autour d'une vingtaine de classes réparties entre les différentes couches. Nous présentons ici les classes de transfert de données, de modèle (service) et de persistance.

3.3.4.2.1 Diagramme de classes de transfert de données (Data Transfert Object - DTO)

Ci-dessous les classes identifiées dans cette catégorie.

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1) Besoin | 6) MetadonneeLOM |
| 2) Chercheur | 7) ModelePedagogique |
| 3) Concept | 8) ObjetApprentissage |
| 4) Domaine | 9) ScenarioApprentissage |
| 5) EntrepotsObjetsApprentissage | 10) TheoriePedagogique |

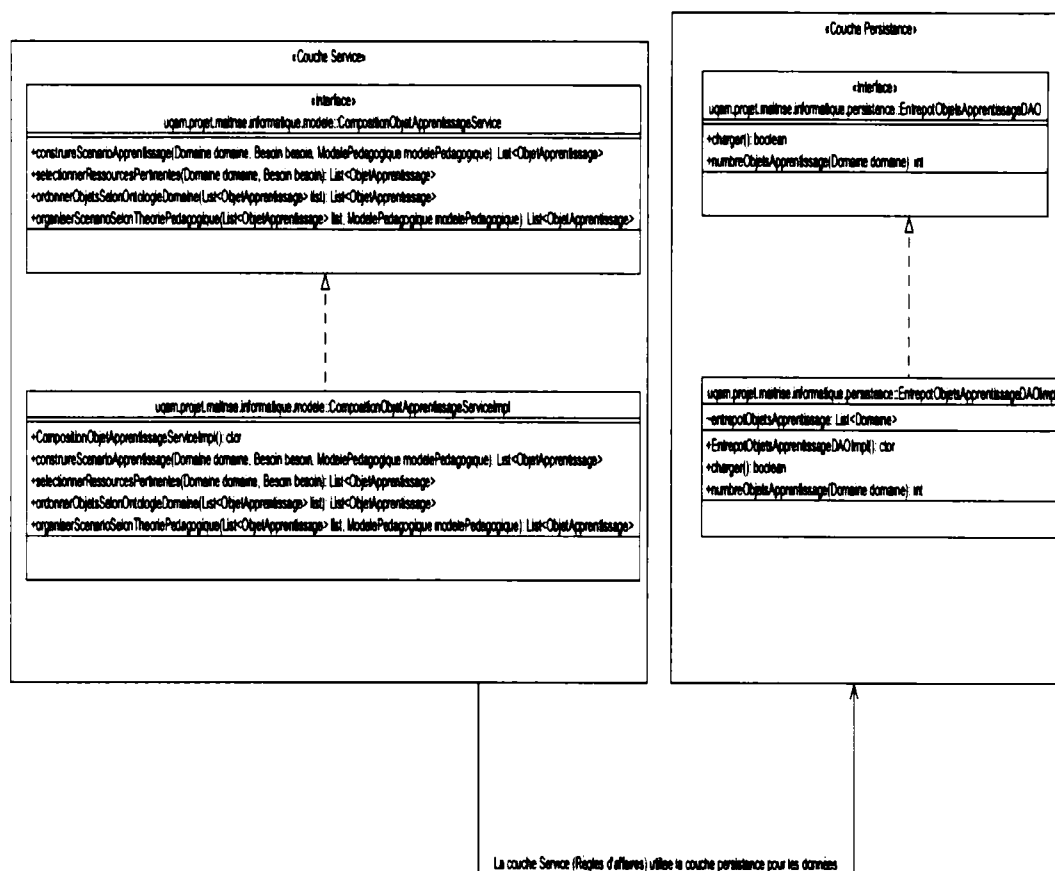


3.3.4.2.2 Diagramme de classes de services et persistance

Ci-dessous les classes identifiées dans cette catégorie.

- 1) CompositionObjetApprentissageService
- 2) CompositionObjetApprentissageServiceImpl
- 3) EntrepotObjetsApprentissageDAO
- 4) EntrepotObjetsApprentissageDAOImpl

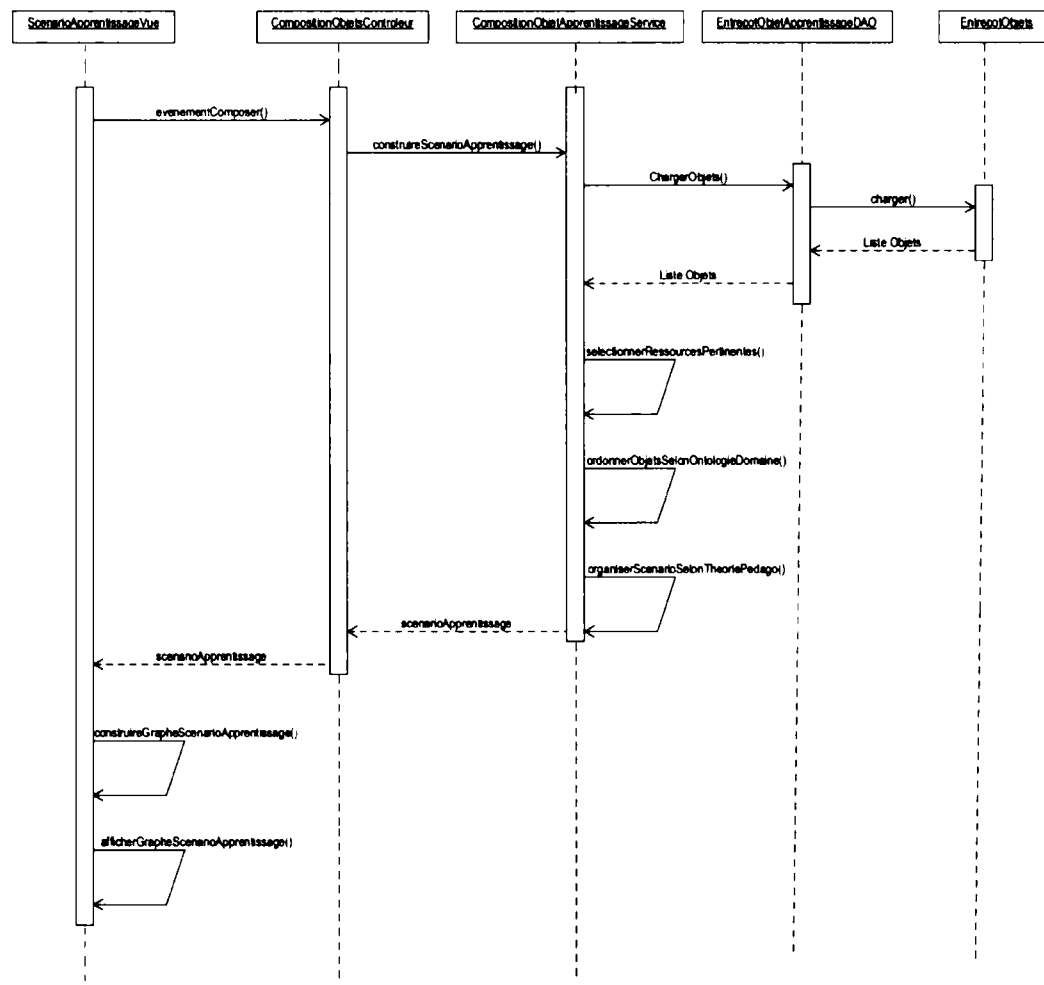
Figure 3.12 Diagramme de classes pour les couches Service et Persistance



3.3.4.3 Diagramme de séquence

Ci-dessous le diagramme de séquence représentant le flux principal qui est la composition des objets depuis la saisie des informations nécessaires jusqu'à la génération du scénario d'apprentissage.

Figure 3.13 Diagramme de séquence du processus de composition du scénario d'apprentissage



3.3.4.4 Présentation des algorithmes

Nous attirons l'attention du lecteur que les algorithmes présentés ici ont comme prémisses la formalisation des notions clés (besoin, objet d'apprentissage et leur relation) mentionnée précédemment. Nous avons cinq (5) algorithmes présentés sous forme de pseudo-code qui sont :

- 1) Construire le scénario d'apprentissage ;
- 2) Sélectionner les ressources pertinentes ;
- 3) Ordonner les objets selon le référencement sémantique du domaine ;
- 4) Construire le scénario d'apprentissage selon les principes pédagogiques ;
- 5) Afficher le scénario sous forme de graphe.

Dans le souci d'éviter toute complexité dans la présentation des algorithmes, nous les écrirons selon l'ordre d'appel ou de dépendance sans faire allusion à la couche d'appartenance (présentation, métier, persistance).

3.3.4.4.1 Construire le scénario d'apprentissage

Comme son nom l'indique, cet algorithme a pour but de construire un scénario d'apprentissage en fonction d'un besoin. Ce scénario doit être basé sur l'ontologie du domaine, et sur un des paradigmes des théories pédagogiques.

L'algorithme "*Construire le scénario d'apprentissage*" est l'algorithme général qui fait appel aux algorithmes spécifiques : "*Sélectionner les ressources pertinentes*", "*Ordonner les objets selon le référencement sémantique du domaine*", "*Organiser le scénario d'apprentissage selon les principes pédagogiques*" et "*Afficher le scénario sous forme de graphe*". Ci-dessous le pseudo-code.

construireScenarioApprentissage

```

// Domaine fait référence à l'ensemble des concepts
// relatifs au domaine d'apprentissage traité.
domaine : Domaine
besoin  : Besoin
theoriePedagogique : TheoriePedagogique

// Déclaration des variables locales
// Liste des objets du scénario d'apprentissage
listeObjetsApprentissage : Liste

```

DÉBUT

```

// Invocation de l'algorithme de sélection des objets
// d'apprentissage
listeObjetsApprentissage ←
    selectionnerRessourcesPertinentes(Domaine, Besoin)

// Invocation de l'algorithme d'ordonnancement des objets
// d'apprentissage selon l'ontologie de domaine
listeObjetsApprentissage ←
    ordonnerObjetsSelonOntologieDomaine(listeObjetsApprentissage)

// Invocation de l'algorithme d'organisation du scénario
// d'apprentissage selon la théorie pédagogique
listeObjetsApprentissage ←
    organiserScenarioSelonTheoriePedagogique(listeObjetsApprentissage,
                                              theoriePedagogique)

// Invocation d'affichage du scénario d'apprentissage sous forme de
// graphe
afficherScenarioApprentissage(listeObjetsApprentissage)

```

FIN**3.3.4.4.2 Sélectionner les ressources pertinentes**

Cet algorithme a pour but de sélectionner tous les objets d'apprentissage qui font partie de la solution pour apprendre un besoin donné. Sachant que nos objets sont référencés sémantiquement selon l'ontologie du domaine, la sélection s'appuie principalement sur les définitions formelles d'un besoin, d'un apprentissage et les règles formelles de : pertinence et exclusion d'un objet d'apprentissage, couverture complète d'un besoin (voir la section sur la formalisation). Ci-dessous le pseudo-code.

selectionnerRessourcesPertinentes

```

// Paramètres de l'algorithme
domaine : Domaine
besoin  : Besoin

// Valeur de retour
Liste

// Déclaration des variables locales
// Liste des objets du scénario d'apprentissage
listeObjetsApprentissage : Liste
// Liste des objets liés à un domaine
entrepotObjetsApprentissage : Liste
// Un objet d'apprentissage
OA : Objet d'apprentissage
//L'ensemble des concepts liés à un objet d'apprentissage
A : Ensemble de concepts
//L'ensemble des concepts liés à un besoin
B : Ensemble de concepts

```

DÉBUT

```

// Extraire les concepts du besoin
B = extraireConceptsBesoin(besoin)
// Obtenir les objets à partir de l'entrepôt
entrepotObjetsApprentissage = obtenirObjetsEntrepots(domaine)
// Parcourir la liste des objets d'apprentissage de l'entrepôt
POUR i de 0 à nbElements(entrepotObjetsApprentissage) FAIRE
    OA ← entrepotObjetsApprentissage[i]
    // La méthode extraireConceptsObjetApprentissage implémente
    // la fonction f telle que définie dans la formalisation.
    A ← extraireConceptsObjetApprentissage(OA)
    SI  $B \cap A \neq \emptyset$  ALORS
        ajouter (listeObjetsApprentissage, OA)
    FIN SI
FIN POUR
Retourner listeObjetsApprentissage

```

FIN**3.3.4.4.3 Ordonner les objets selon le référencement sémantique du domaine**

L'objectif principal de cet algorithme est d'ordonner les objets d'apprentissage faisant partie de la solution d'apprentissage d'un besoin. Cet ordonnancement se base sur le référencement sémantique du domaine en utilisant la *règle de préséance entre deux (2) objets d'apprentissage* définie dans la section de formalisation. En résumé,

cette règle nous dit que les liens de préséance induits entre les objets d'apprentissage via leur relation avec l'ontologie du domaine nous permettent de savoir entre deux (2) objets d'apprentissage OA_i et OA_j , lequel a la priorité d'être appris par l'apprenant. Ainsi, si OA_i a le droit de précéder OA_j , notre algorithme place OA_i avant OA_j dans la liste des objets d'apprentissage de l'apprenant. Une file de priorité pourrait bien être utilisé pour gérer cet aspect de la problématique. Ci-dessous le pseudo-code :

ordonnerObjetsSelonOntologieDomaine

```

// Paramètres de l'algorithme
listeObjetsApprentissage : Liste
// Valeur de retour
Liste

// Déclaration des variables locales
// Liste des objets du scénario d'apprentissage
listeLocaleObjetsApprentissage : Liste

// Un objet d'apprentissage
OA : Objet d'apprentissage

DÉBUT

//Parcourir la liste des objets d'apprentissage
POUR i de 0 à nbElements(listeObjetsApprentissage) FAIRE
    OA ← listeObjetsApprentissage [i]
    // Ordonner la liste des objets selon la règle de préséance
    // de deux (2) OA définie dans la formalisation
    precederSelonOntologieDomaine(listeLocaleObjets, OA)
FIN POUR

Retourner listeLocaleObjets
FIN

```

3.3.4.4 Organiser le scénario d'apprentissage selon les principes pédagogiques

Dans le souci de donner un apprentissage adapté à chaque apprenant, cet algorithme aide à l'organisation des objets d'apprentissage selon les principes pédagogiques. Cette organisation peut se faire selon les différents modèles définis (la taxonomie de Bloom, la taxonomie de Gagné R., le modèle de Gagné et Brigg, etc.) à travers les trois (3) grands paradigmes des théories pédagogiques.

Dans le cadre de ce travail, cet algorithme simule le scénario d'apprentissage (ensemble des objets d'apprentissage) selon les trois (3) paradigmes des théories pédagogiques de la façon suivante :

- 1) **Béhaviorisme** : (1) Définition claire de l'objectif d'apprentissage → (2) Exposé magistral (Tutoriels) → (3) Exercices → (4) Évaluation par rapport à l'objectif.
- 2) **Cognitivisme**: (1) Définition claire de l'objectif d'apprentissage → (2) Tutoriels intelligents / simulation / images /diagramme → (3) Exemples / Exercices → (4) Évaluation par rapport à l'objectif.
- 3) **Constructivisme** : (1) Multiples présentations de la réalité de multiples → (2) Exploration des hyperliens / hypermédias / découverte guidée / projets / étude de cas) → (3) Auto-évaluation / évaluation en ligne.

organiserScenarioSelonTheoriePedagogique

```
// Paramètres de l'algorithme
listeObjetsApprentissage : Liste
theoriePedagogique : TheoriePedagogique
```

DÉBUT

```
SI theoriePedagogique = Behaviorisme ALORS
  // Construire le scénario Béhaviorisme
  listeObjetsApprentissage ←
    construireScenarioBehaviorisme (listeObjetsApprentissage)
SINON SI theoriePedagogique = Cognitivisme ALORS
  // Construire le scénario Cognitivisme
  listeObjetsApprentissage ←
    construireScenarioCognitivisme (listeObjetsApprentissage)
SINON SI theoriePedagogique = Constructivisme ALORS
  // Construire le scénario Béhaviorisme
  listeObjetsApprentissage ←
    construireScenarioConstructivisme (listeObjetsApprentissage)
```

```
FIN SI
```

```
Retourner listeLocaleObjets
```

FIN

3.3.4.4.5 Afficher les objets sous forme de graphe selon leur ordre prédéfini

En recevant la liste des objets d'apprentissage organisée selon les contraintes de l'ontologie du domaine et les principes pédagogiques, cet algorithme construit un graphe qui représente le scénario d'apprentissage et l'affiche.

afficherScenarioApprentissage

```
// Paramètres de l'algorithme
listeObjetsApprentissage : Liste

// Déclaration des variables locales
// Graphe représentant le scénario d'apprentissage
scenarioEnGraphe : Graphe
```

DÉBUT

```
// Construire le graphe du scénario d'apprentissage
scenarioEnGraphe ←
    construireScenarioGraphe (listeObjetsApprentissage)

// afficher le graphe du scénario d'apprentissage
afficherScenarioGraphe (scenarioEnGraphe)
```

FIN

3.3.4.5 Implémentation

Cette section décrit la réalisation concrète du prototype où nous élaborons sur les éléments tels que le choix du langage, l'architecture technique, le domaine d'apprentissage choisi et son ontologie, l'outil choisi pour l'édition des métadonnées des objets d'apprentissage, les interfaces graphiques, et également les problèmes techniques rencontrés.

3.3.4.5.1 Choix de langage / architecture technique

Connaissant assez-bien la programmation orienté-objet, le langage Java a été un choix facile pour nous. Hormis de cette raison, l'existence de plusieurs cadre de travail ("Framework") / API dans le domaine de l'apprentissage en ligne et l'édition

des métadonnées a aussi motivé notre choix. L'édition standard Java SE 7 Update 3 a été utilisée dans le développement du prototype.

Le prototype étant une application de base pour valider notre modèle, l'architecture technique basée sur le client lourd ("fat client") a été bâti selon le pattern Modèle-Vue-Contrôleur (MVC) avec une séparation claire entre les classes impliquées dans la présentation, les règles d'affaires et la persistance en utilisant le pattern d'interface médiateur.

Au niveau de la couche de persistance, le prototype n'a aucune base de données, cette dernière se limite à la gestion des fichiers XML (métadonnées), et des fichiers représentant les objets d'apprentissage sous plusieurs formes (textes, présentation Powerpoint, images, video, et audio). Cette gestion consistait à la transformation du XML en objet Java ou vice-versa ("Marshalling" / "Unmarshalling"). Nos objets étant encapsulés selon le standard LOM avec ses 45 éléments descriptifs de premier niveau regroupés en neuf (9) catégories, un de nos premiers problèmes techniques a été de définir des objets avec les champs requis pour faciliter le "mapping" XML à Java / Java à XML. L'utilisation de la librairie "Learning Object Metadata (LOM) Java API" a été d'une grande aide.

Les interfaces graphiques sont développées en utilisant les libraires swing, AWT, JGraph et JGraphT. Les deux (2) dernières librairies sont utilisées pour la construction du graphe et son affichage.

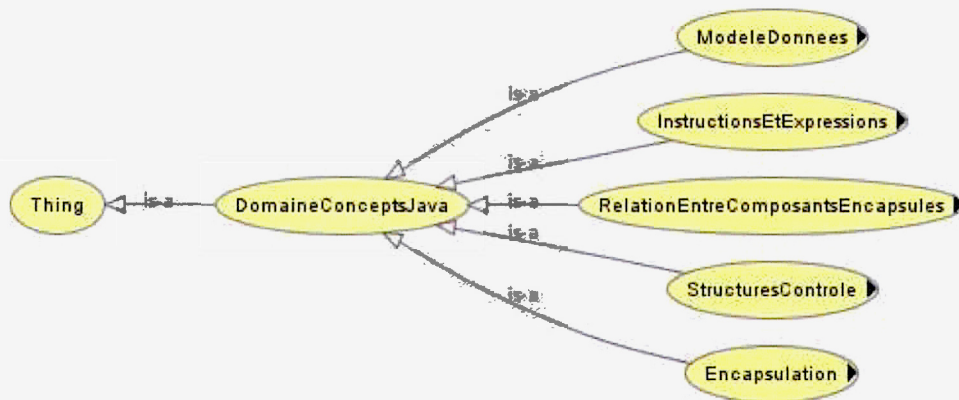
3.3.4.5.2 Domaine d'apprentissage choisi et son ontologie

Dans le cadre de cette maîtrise, le domaine d'apprentissage choisi est "Introduction à la programmation Java". Ici, je présente les différents concepts de l'ontologie du domaine qui ont été définis à partir de l'outil Protégé 4.1.0 (Build 231). Le nom de l'ontologie du domaine est *DomaineConceptsJava* composé 120 concepts repartis entre les cinq (5) concepts qui sont :

- 1) Modèle de données (ModeleDonnees)
- 2) Instructions et expressions (InstructionsEtExpressions)
- 3) Structures de contrôle (StructuresControle)
- 4) Encapsulation (Encapsulation)
- 5) Relation entre composants encapsulés (RelationEntreComposants)

La figure ci-dessous pour plus de détails.

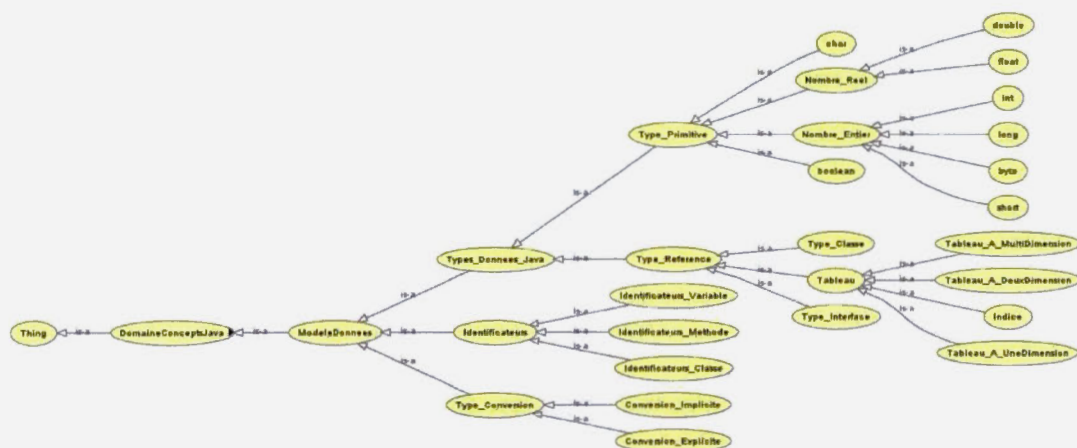
Figure 3.14 Vue graphique (owlViz) des cinq (5) concepts de 1er niveau



- 1) Modèle de données (ModeleDonnees)

Ce concept regroupe tous les concepts qui définissent les différents types de variables (primitif et référence), les différents types de conversion (implicite et explicite) et les conventions d'écriture des noms des identificateurs de classe, de méthode et de variables. Cette section est composée de 28 concepts dont les détails sont mentionnés dans la figure suivante.

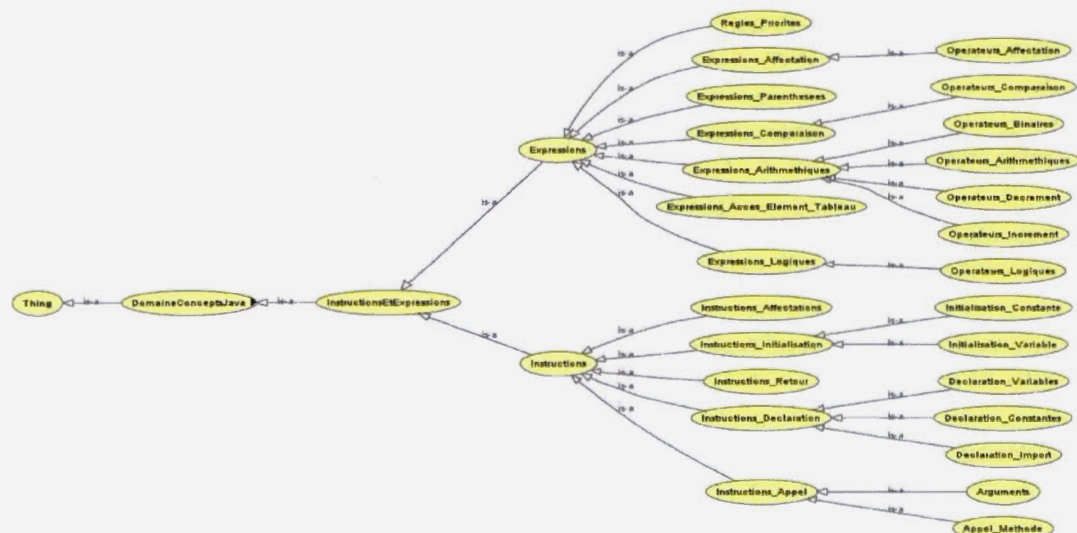
Figure 3.15 Vue graphique (owlViz) des concepts du modèle des données



2) Instructions et expressions (InstructionsEtExpressions)

Ce concept regroupe tous les concepts qui définissent les différentes instructions de base (déclaration, initialisation, affectation, appel et retour) et les différentes expressions de base (comparaison, arithmétique, etc.). Cette section est composée de 29 concepts dont les détails sont mentionnés dans la figure suivante.

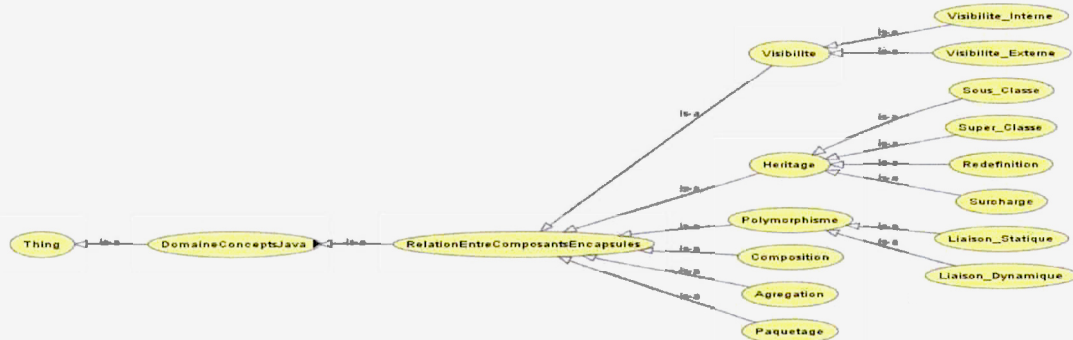
Figure 3.16 Vue graphique (owlViz) des concepts des instructions et des expressions



3) Structures de contrôle (StructuresContrôle)

Ce concept regroupe tous les concepts qui définissent les structures de sélection, de répétition et de séquence. Cette section est composée de 18 concepts dont les détails sont mentionnés dans la figure suivante.

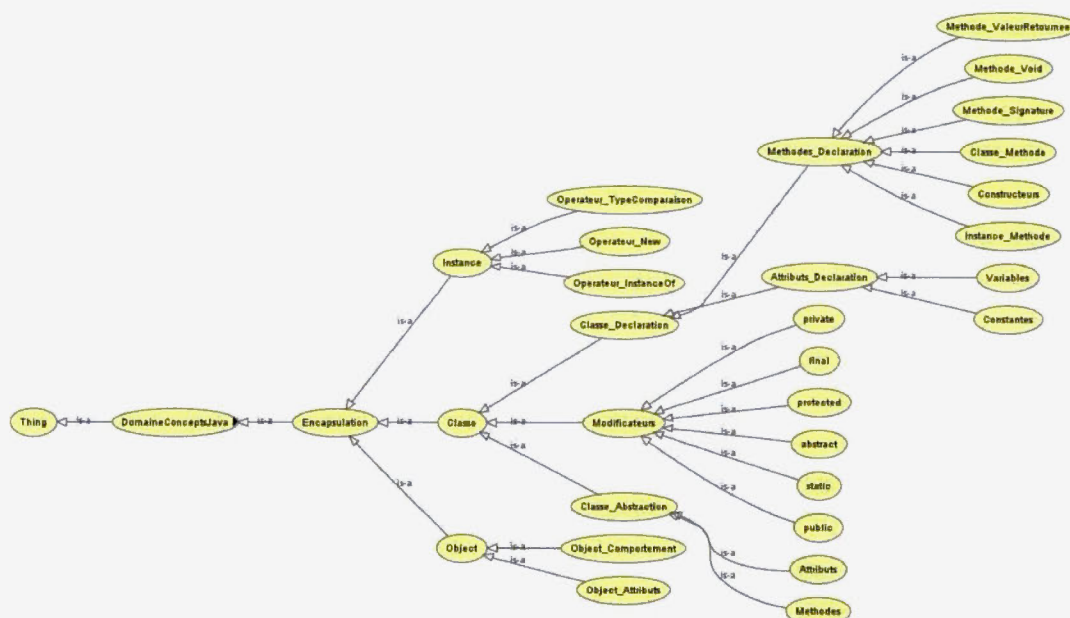
Figure 3.17 Vue graphique (owlViz) des concepts des structures de contrôle



4) Encapsulation (Encapsulation)

Ce concept regroupe tous les concepts qui définissent les notions de classe, d'instance, de la classe Object et des modificateurs (abstract, static, private, public, protected, final, etc.). Cette section est composée de 30 concepts dont les détails sont mentionnés dans la figure suivante.

Figure 3.18 Vue graphique (owlViz) des concepts de l'encapsulation



5) Relation entre composants encapsulés (RelationEntreComposants)

Dans cette catégorie, j'aborde les concepts qui définissent les notions de packaging, d'héritage, d'agrégation, de composition, de polymorphisme. Cette section est composée de 15 concepts dont les détails sont mentionnés dans la figure 6.

Figure 3.19 Vue graphique (owlViz) des concepts de relation entre les composants encapsulés

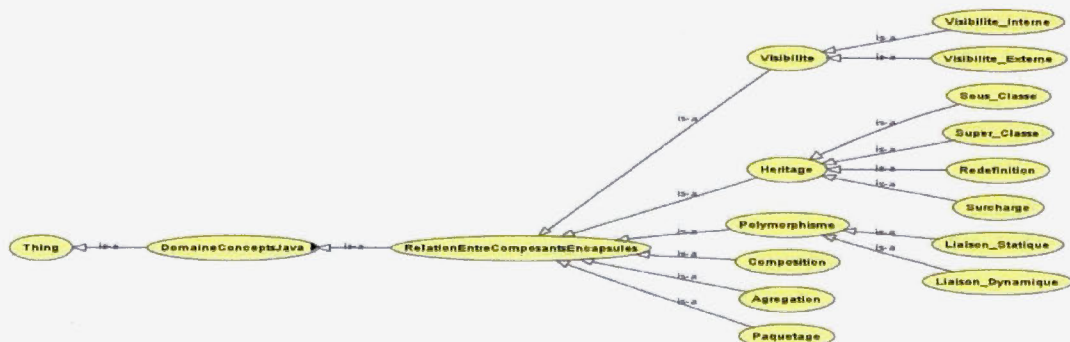
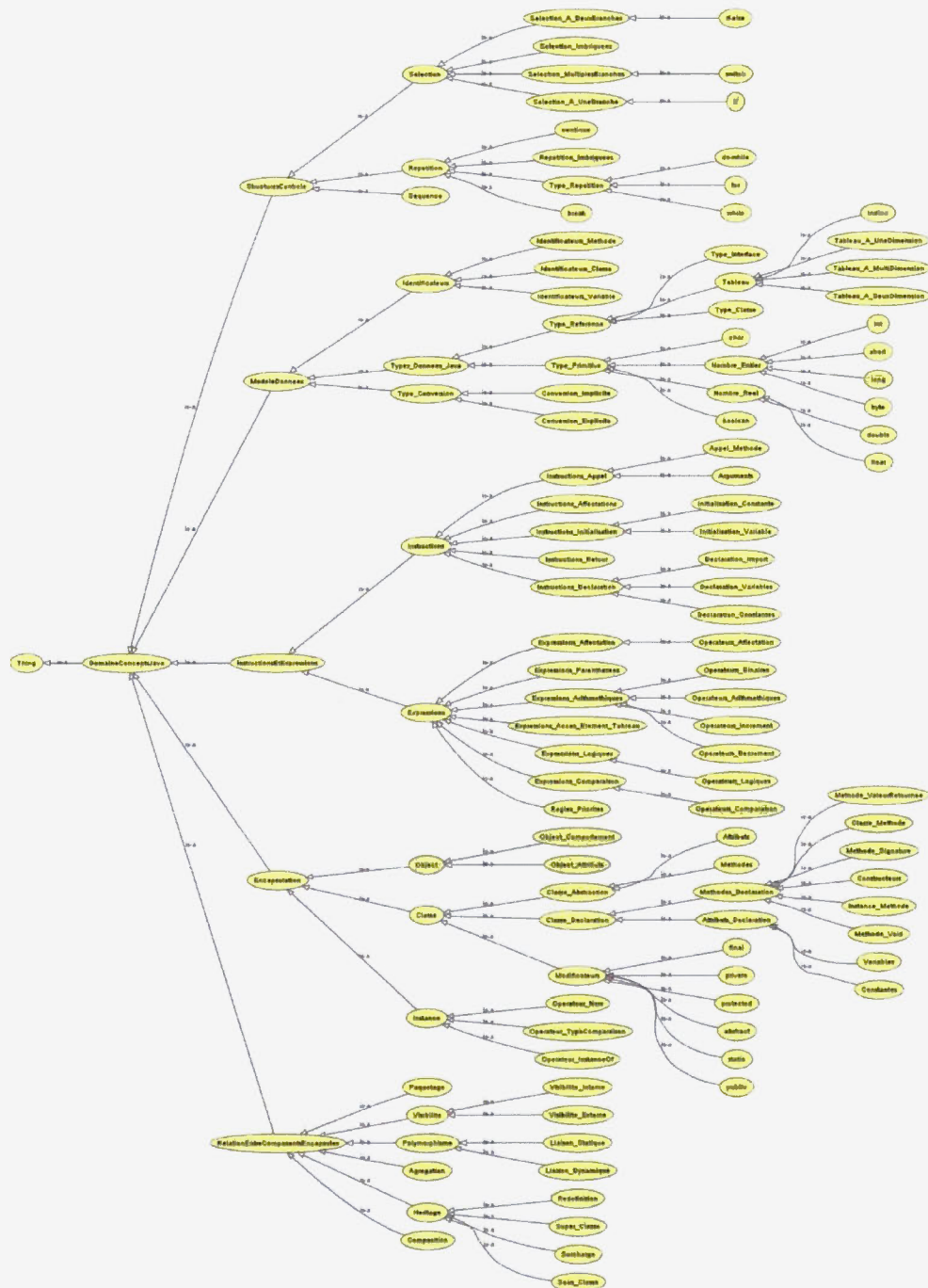


Figure 3.20 **Vue graphique (owlViz) de tous les concepts définis**



3.3.4.5.3 Édition des métadonnées des objets d'apprentissage

Comme annoncé précédemment, nos objets d'apprentissage ont été encapsulés selon le standard LOM avec ses neuf (9) catégories constituées de 45 éléments descriptifs au total, l'outil d'édition des métadonnées que nous avons utilisé est : LOMPAD version 1.0 (révision 51) développé par LICEF (Laboratoire d'Informatique Cognitive et Environnements de Formation) connu comme le Centre de recherche de la Télé-université (UQAM) & TÉLUQ (La formation universitaire à distance au Québec).

LOMPAD, disponible en français, malgré sa convivialité ("user friendly") et vu le nombre élevé de catégories / éléments de LOM, la tâche d'annotation a été longue et ardue. J'espère que la nouvelle norme MLR (Metadata for Learning Resources) avec 6 parties (moins d'éléments descriptifs), dont la normalisation a commencé en Janvier 2011 pourrait remédier à cette problématique.

Figure 3.21 Une vue de LOMPAD en action lors de l'édition des types de variables

The screenshot shows the LOMPAD application window titled "LomPad - JavaTypesVariables.xml". The menu bar includes "Fichier", "Langue", "Profil", and "Aide". Below the menu, it says "Profil : IEEE LOM". A tab bar at the top contains tabs for "1 - Général", "2 - Cyc", "3 - Mét", "4 - Tec", "5 - Péd", "6 - Dro", "7 - Rel", "8 - Ann", and "9 - Cla". The "1 - Général" tab is selected, showing a list of 18 metadata elements with checkboxes to the left and input fields to the right. The elements and their values are:

- 1.1 - Identifiant: Catalogue URI-C1; Entrée: <http://www.er.uqam.ca/nobel/k12665/Ontologies/Concepts/JavaTypesVariables.xml>
- 1.2 - Titre: Introduction à la programmation en Java : Types de variables
- 1.3 - Langage: fr
- 1.4 - Description: Apprendre les types de variables et la déclaration des variables en Java
- 1.5 - Mot-clé: Java, Type de données, déclaration des variable
- 1.6 - Couverture: (empty field)
- 1.7 - Structure: linéaire
- 1.8 - Niveau d'agrégation: 1

3.3.4.5.4 Interfaces graphiques du prototype

L'interface de notre prototype se subdivise en quatre (4) parties principales qui sont :

Partie 1 : comprend de composants graphiques dont le premier permet de choisir le domaine d'apprentissage à appliquer, tandis que le second permet de spécifier ton besoin d'apprentissage. Pour simplifier le prototype, les deux (2) listes contiennent des domaines et des besoins prédéfinis;

Partie 2 : représente la section qui permet à l'apprenant de choisir la théorie pédagogique désirée soit le Béhaviorisme, le Cognitivism, et le Constructivism. L'option "Non applicable" signifie que l'apprenant désire un scénario d'apprentissage avec la théorie pédagogique par défaut qui est : Le Béhaviorisme.

Partie 3 : correspond à la partie de visualisation d'un scénario d'apprentissage.

Partie 4 : représente la section des boutons qui sont :

- ✓ "Composer" est le bouton qui initie le processus de composition des objets d'apprentissage si les changes obligatoires sont fournis (domaine, besoin et la théorie pédagogique) ;
- ✓ "Afficher les locations des ressources" permet à l'apprenant de trouver toutes les locations des objets d'apprentissage qui présentés dans le scénario d'apprentissage ;
- ✓ "Fermer" comme son nom l'indique, fermera notre de fenêtre de composition des objets d'apprentissage.

Figure 3.22 Interface de composition des objets au démarrage de l'application

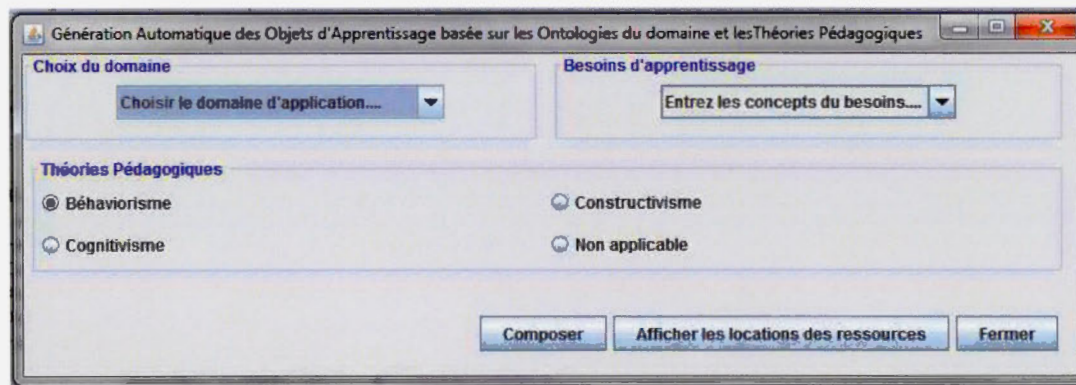


Figure 3.23 Interface de composition des objets après une composition (domaine = "Introduction à la programmation Java", Besoin d'apprentissage = "Types primitifs", Théorie Pédagogique = "Cognitivism")

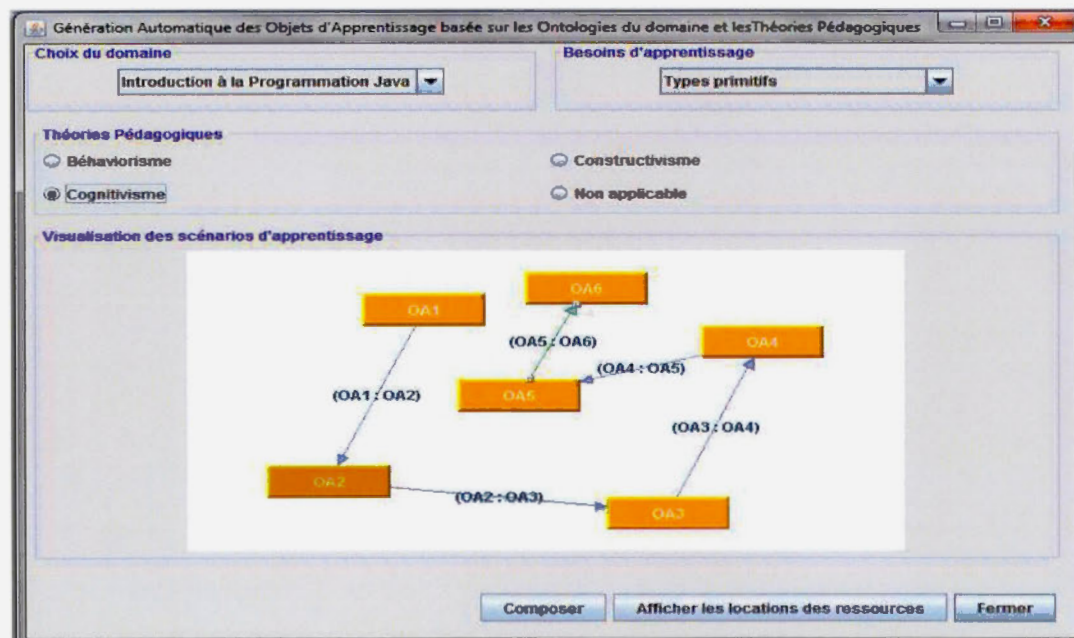
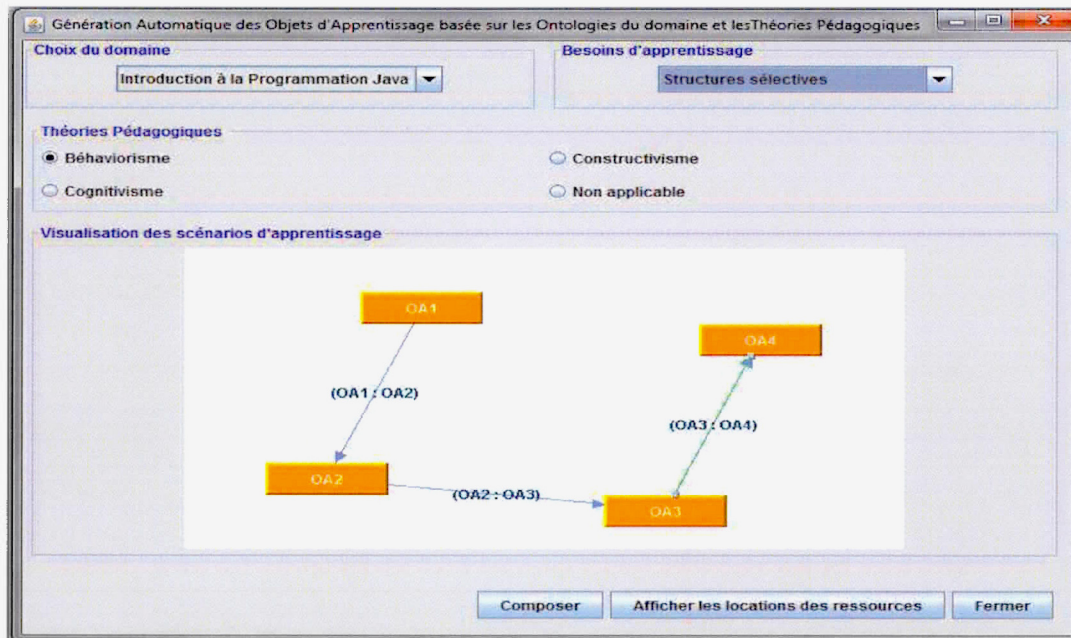


Figure 3.24 Interface de composition des objets après une composition (domaine = "Introduction à la programmation Java", Besoin d'apprentissage = "Structures sélectives", Théorie Pédagogique = "Béhaviorisme")



3.3.4.5.5 Validation du prototype

Les scénarios de tests pour valider les cas normaux et d'erreurs de notre prototype ont été écrits et les tests de validations ont été faits. Pour faciliter nos tests, juste un seul domaine d'apprentissage ("*Introduction à la programmation Java*") a été choisi et des besoins préfinis ont été suggérés dans la liste des besoins. Malgré ces limitations, nous sommes assurés que les cas réels pour confirmer les hypothèses de notre modèle soient testés avec succès.

Nous sommes conscients qu'avec une architecture orienté "*Web*" et un grand nombre de domaines, de besoins et d'utilisateurs nous permettront de réaliser une expérimentation plus avancée.

CHAPITRE IV

CONCLUSION

4.1 Rappel des objectifs

Ce mémoire a pour objectif principal de démontrer l'apport très important des ontologies du domaine et des théories pédagogiques dans la composition automatique des objets d'apprentissage. Autrement dit, tenir compte des besoins de l'apprenant et de son style d'apprentissage pour lui bâtir un scénario d'apprentissage personnalisé, ancré sémantiquement et pédagogiquement efficace. Ce scénario bien que personnel doit être organisé autour des normes / standards et les ontologies du domaine pour permettre l'interopérabilité et la réutilisation.

4.2 Travail réalisé

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons réalisé un court rappel sur les organismes de standardisation, la définition d'un objet d'apprentissage, ses métadonnées et ses entrepôts, la formation en ligne ou le eLearning, les objectifs à trois (3) dimensions du eLearning (économique, formation et technique), le Web sémantique, les ontologies, le langage pour les ontologies (OWL 1 et OWL2), les types d'ontologies, une synthèse sur l'interrelation entre le eLearning, le Web sémantique et les ontologies. Une étude comparative et un résumé ont été faits sur les paradigmes des théories pédagogiques.

Dans le contexte général de la composition des objets d'apprentissage, nous avons parlé des enjeux et défis, des approches existantes (processus, contenu et

modélisation pédagogique), des standards et des approches basées ou non sur les ontologies.

Enfin, en utilisant un modèle existant comme cadre méthodologique, nous avons réalisé un modèle de composition des objets d'apprentissage basé sur les ontologies du domaine et les théories pédagogiques. Ensuite, nous avons construit un prototype pour valider notre modèle en définissant :

- ✓ Un domaine d'apprentissage (Introduction à la Programmation Java) ;
- ✓ Une banque de ressources référencées sémantiquement selon l'ontologie du domaine ;
- ✓ Un ensemble de principes pédagogiques ;
- ✓ Une interface graphique pour saisir le domaine, le besoin et la théorie pédagogique choisis par l'apprenant, "calculer" et afficher un scénario d'apprentissage selon les entrées précédentes.

4.3 Forces et faiblesses de notre approche

Après avoir analysé, comparé plus d'une dizaine d'approches dans le domaine de l'apprentissage en ligne tout en dégagant leurs forces et faiblesses, nul ne peut douter que la nôtre a aussi ses forces et faiblesses tant au niveau du modèle qu'au niveau du prototype. Nous en faisons la même chose dans cette section en commençant par ses faiblesses suivies de ses forces.

La complexité de l'extraction des principes des modèles pédagogiques à partir de l'ontologie des théories pédagogiques OMNIBUS et de l'injection dynamique de ces principes dans notre modèle nous a conduit à une compilation statique de quelques principes pédagogiques pour être utilisé dans notre modèle / prototype. Cette compilation statique a un impact non seulement sur notre modèle, mais également sur notre prototype, car elle limite la richesse pédagogique du modèle en style

d'apprentissage, et empêche la prise en compte de toute nouvelle modification dans l'ontologie des théories pédagogiques OMNIBUS.

Le développement du prototype basé sur l'architecture client lourd (*fat client*) où tout réside sur le même ordinateur, l'empêche de bénéficier de tous les avantages du monde "Web" et surtout des deux (2) éléments fondamentaux des modèles d'apprentissage en ligne qui sont : interopérabilité et réutilisation.

Nul ne doute à l'heure actuelle de l'apport des théories pédagogiques dans l'enseignement / apprentissage traditionnel ou en ligne, notre modèle apporte cette plus value en permettant la génération automatique des scénarios d'apprentissage personnalisés selon les besoins et la théorie pédagogique sélectionnés par l'apprenant. Le modèle prend également en compte les standards et l'ontologie du domaine.

Compte tenu des besoins incessants des entreprises pour améliorer le niveau de connaissances de leurs employés, notre modèle peut leur permettre d'établir et atteindre ces objectifs. D'autre part, il peut permettre de fournir différents scénarios d'apprentissage qui favorisent un apprenant à trouver des approches divergentes pour résoudre les problèmes dans un contexte d'enseignement ou d'apprentissage en ligne.

4.4 Suggestion de futures améliorations

Malgré l'apport de notre modèle, l'intervention humaine est encore requise à plusieurs niveaux (choix du domaine, du besoin et de la théorie pédagogique) pour permettre la construction des scénarios d'apprentissage. Comme futures améliorations, nous suggérons :

- 1) La simplification de l'indexation des ressources en utilisant la norme MLR (Metadata Learning Resource) au lieu de LOM;

- 2) Une extraction dynamique des principes pédagogiques des modèles (Bloom, Gagné, Dick / Carey, Joyce – Weil, Merrill, etc.) à partir de l'ontologie des théories pédagogiques (comme OMNIBUS) ;
- 3) Une injection dynamique des principes pédagogiques extraits dans le modèle proposé ;
- 4) Une architecture distribuée orientée "Web" pour le prototype avec une interface offrant plusieurs options pour le choix des principes pédagogiques selon les modèles existants ;
- 5) L'utilisation des vrais entrepôts d'objets d'apprentissage comme banque de données au lieu des fichiers systèmes ;
- 6) Une analyse du profil des apprenants et une suggestion automatique des scénarios d'apprentissage pour ces apprenants.

À la fin de ce mémoire, j'ai acquis une bonne connaissance sur les standards, les ontologies, les modèles de composition des objets d'apprentissage (avec ou sans ontologies), les modèles / théories pédagogiques, et leur importance dans la construction des scénarios d'apprentissage. Par contre, j'avoue que j'ai le sentiment du travail inachevé que j'ai le goût de développer dans le cadre d'un Doctorat.

BIBLIOGRAPHIE

- Abel, M., A. Benayache, D. Lenne, C. Moulin, C. Barry et B. Chaput. 2004. «Ontology-based Organizational Memory for e-learning». *Educational technology & society*, vol. 7, no 4, p. 98-111.
- Adcock, G., A. Ip et J. Mason. 2000. «Modeling Information to support value-adding: EdNA Online». *WebNet Journal: Internet Technologies, Applications & Issues*, vol. 2, no 3, p. 38-45.
- Barrit, C., D. Lewis et W. Wieseler. 1999. «Cisco systems reusable information object strategy version 3.0». *See also: <http://www.cisco.com>*.
- Basque, J., J. Rocheleau et L. Winer (1998). Une approche pédagogique pour l'école informatisée. 10 En ligne. <<http://www.robertbibeau.ca/peda0398.pdf>>. Consulté le 27-06-2011.
- Bentaieb, A., et M. Arnaud (2012). Présentation de la problématique En ligne. <<http://www-sop.inria.fr/acacia/WORKSHOPS/WebLearn2005/Submissions-List/WebLearn05-Bentaieb-Arnaud-1.doc>>. Consulté le 2012-03-01.
- Berners-Lee, T., J. Hendler et O. Lassila. 2001. «The semantic web». *Scientific american*, vol. 284, no 5, p. 28-37.
- Bourda, Y., et N. Delestre. 2005. «Améliorer l'interopérabilité des profils d'application du LOM». *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, vol. 12.
- Bourda, Y., G. Gauthier, R. De Regil et O. Catteau. 2010. «Métadonnées pour ressources d'apprentissage (MLR): nouvelle norme ISO de description de ressources pédagogiques». *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, vol. 17.

- Bourdeau, J., R. Mizoguchi, V. Psyché et R. Nkambou. 2004. *Selecting theories in an ontology-based ITS authoring environment: Intelligent Tutoring Systems*. Springer, 150-161 p.
- Boutemedjet, S. 2004. «Web Sémantique et E-learning». En ligne. <Université de Montréal, [http://www. iro. umontreal. ca/~ aimeur/cours/ift6261/Presentations-etudiants/WebSemantiqueE-learning. pdf](http://www.iro.umontreal.ca/~aimeur/cours/ift6261/Presentations-etudiants/WebSemantiqueE-learning.pdf)>. Consulté le 29-06-2013.
- Buffa, M., S. Dehors, C. Faron-Zucker et P. Sander. 2005. *Towards a corporate semantic web approach in designing learning systems: Review of the trial solution project: Proc. of International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning, AIED*. Citeseer, 73-76 p.
- Cafolla, R. 2006. «Project MERLOT: Bringing peer review to web-based educational resources». *Journal of Technology and Teacher Education*, vol. 14, no 2, p. 313-323.
- Cardinaels, K. 2007. «A dynamic learning object life and its implications for automatic metadata generation». Ph. D. Thesis, Department of Computer Science, KU Leuven, Leuven, Belgium.
- Cardinaels, K., M. Meire et E. Duval. 2005. *Automating metadata generation: the simple indexing interface: Proceedings of the 14th international conference on World Wide Web*. ACM, 548-556 p.
- Catteau, O, P Vidal et J Broisin. 2006. *Gestion du cycle de vie au sein du LOM et de ses profils d'application: Actes de la conférence TICE*.
- Chandrasekaran, B., J. R. Josephson et V. R. Benjamins. 1999. «What are ontologies, and why do we need them?». *Intelligent Systems and Their Applications, IEEE*, vol. 14, no 1, p. 20-26.

- Clark, Ruth C. 2011. *Developing technical training: A structured approach for developing classroom and computer-based instructional materials*: John Wiley & Sons p.
- Conkey, C., B. Smith, C. DuBuc et P. Smith. 2006. *Integrating Simulations into Sharable Content Object Reference Model Learning Environments: The Interservice/Industry Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC)*. NTSA.
- Consortium, IMS Global Learning. 2003. «IMS learning design specification». En ligne. <<http://www.imsglobal.org/learningdesign/>>. Consulté le 26-12-2013.
- Coulet, A. (2012). Le Web sémantique: technologies et applications En ligne. <http://webloria.loria.fr/~coulet/Teaching_files/cours_ws_version_etudiants.pdf>. Consulté le 2012-06-18.
- De Hoog, R., S. Kabel, Y. Barnard, G. Boy, P. DeLuca, C Desmoulins, J. Riemersma et D. Verstegen. 2002. *Re-using technical manuals for instruction: creating instructional material with the tools of the IMAT project: Proceedings of ITS'2002 Workshop on Integrating Technical And Training Documentation*. 28-39 p.
- Dieng-Kuntz, R., et F. Gandon. 2005. «Ontologies pour le Web Sémantique et le e-Learning». En ligne. <http://www.cndwebzine.hcp.ma/IMG/pdf/Web_semantique_pour_le_e-Learning.pdf#page=51>. Consulté le 17-05-2008.
- Downes, S. 2001. «Learning objects: resources for distance education worldwide». *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 2, no 1.
- , 2004. «The learning marketplace: Meaning, metadata and content syndication in the learning object economy». *Dostupno na: http://www.downes.ca/files/book3.htm*.

- Driscoll, M. P. (2005). Psychology of learning for instruction En ligne. <[http://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/9013/mod_resource/content/1/driscoll-ch10%20\(1\).pdf](http://ocw.metu.edu.tr/pluginfile.php/9013/mod_resource/content/1/driscoll-ch10%20(1).pdf)>. Consulté le 08-07-2013.
- Drucker, P. 2000. «Need to know: Integrating e-learning with high velocity value chains». *A Delphi Group White Paper*, p. 1-12.
- Duffy, T. M., et D. H. Jonassen. 1992. «Constructivism: New implications for instructional technology». *Constructivism and the technology of instruction: A conversation*, p. 1-16.
- Duval, E., E. Forte, K. Cardinaels, B. Verhoeven, R. Van Durm, K. Hendriks, M. W. Forte, N. Ebel, M. Macowicz et K. Warkentyne. 2001. «The Ariadne knowledge pool system». *Communications of the ACM*, vol. 44, no 5, p. 72-78.
- Duval, E., et W. Hodgins. 2003. *A LOM Research Agenda: WWW (Alternate Paper Tracks)*.
- Fernandes, E., H. Madhour, S. Miniaoui et M. W. Forte. 2005. *Phoenix tool: a support to Semantic Learning Model: Advanced Learning Technologies, 2005. ICALT 2005. Fifth IEEE International Conference on*. IEEE, 948-949 p.
- Forte, E. N., M. H. Wentland Forte et E. Duval. 1997. «The ARIADNE project (Part 2): knowledge pools for computer-based and telematics-supported classical, open and distance education». *European Journal of Engineering Education*, vol. 22, no 2, p. 153-166.
- Friesen, N., et R. McGreal. 2002. «International e-Learning specifications». *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 3, no 2.
- Gagne, R., et L. Briggs (1992). Wa ger, W.(1992). Principles of Instructional Design, Fort Worth, TX: HBJ College Publishers

- Giaretta, P. 1995. «Ontologies and knowledge bases towards a terminological clarification». *Towards very large knowledge bases: knowledge building & knowledge sharing 1995*, p. 25.
- Gómez-Pérez, A. 1999. «Développement récents en matière de conception, de maintenance et d'utilisation des ontologies». *Terminologies nouvelles*, vol. 19, p. 9-20.
- Hayashi, Y., J. Bourdeau et R. Mizoguchi. 2009. «Using ontological engineering to organize learning/instructional theories and build a theory-aware authoring system». *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 19, no 2, p. 211-252.
- Hernandez, N., J. Mothe, B. Ralalason et P. Stolf. 2006. *Modèle de représentation sémantique des documents électroniques pour leur réutilisabilité dans l'apprentissage en ligne: CIDE*. 181-198 p.
- Hodgins, W., et E. Duval. 2002. «Draft standard for learning object metadata». *IEEE*, vol. 1484, p. 1-2002.
- Jonassen, D. H. 1991. «Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?». *Educational technology research and development*, vol. 39, no 3, p. 5-14.
- Jonassen, D. H., T. Mayes et R. McAleese. 1993. «A manifesto for a constructivist approach to uses of technology in higher education». In *Designing environments for constructive learning*, p. 231-247: Springer.
- Jovanović, J., D. Gašević, C. Knight et G. Richards. 2007. «Ontologies for effective use of context in e-learning settings». *Educational technology & society*, vol. 10, no 3, p. 47-59.
- Keenoy, K., A. Poulouvasilis, V. Christophides, P. Rigaux, G. Papamarkos, A. Magkanaraki, M. Stratakis, N. Spyrtos et P. Wood. 2004. «Personalisation services for self e-learning networks». In *Web Engineering*, p. 215-219: Springer.

- Koper, R. 2001. «Modelling units of study from a pedagogical perspective the pedagogical metamodel behind EML, 2001». *Educational Expertise Technology Centre, Open University of the Netherlands*.
- Koper, R., et B. Olivier. 2003. «Representing the learning design of units of learning». En ligne. <<http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/19/2/IMSLD-article%20v1p07-final.pdf>>. Consulté le 22-11-2012.
- L'Allier, J. 1997. «Frame of Reference: NETg's Map to the Products, Their Structure and Core Beliefs. NetG Whitepaper. Cited in Polsani, Pithamber R.(2003) The Use and Abuse of Reusable Learning Objects». *Journal of Digital Information*, vol. 3, no 4.
- Laublet, P., C. Reynaud et J. Charlet. 2002. «Sur quelques aspects du Web sémantique». *Actes des deuxièmes assises nationales du GdRI3*, p. 59-78.
- Light, B., C. P. Holland et K. Wills. 2001. «ERP and best of breed: a comparative analysis». *Business Process Management Journal*, vol. 7, no 3, p. 216-224.
- Löser, A., C. Grune et M. Hoffmann. 2002. *A didactic model, definition of learning objects and selection of metadata for an online curriculum: Proceedings of the International Workshop of Interactive Computer Aided Learning (ICL), Villach, Austria*.
- Lupovici, C. (1998). L'information bibliographique des documents électroniques En ligne. <<http://bbf.enssib.fr/consulter/09-lupovici.pdf>>. Consulté le 09-07-2011.
- Mergel, B. 1998. «Instructional design and learning theory». En ligne. <http://members.iinet.net.au/~aamcarthur/11_March_2008_files/Learning_Theories_of_Instructional_Design.pdf>. Consulté le 01-08-2011.
- Merrill, M. D. 1983. «Component display theory». *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*, vol. 1.

- Nejdl, W., B. Wolf, C. Qu, S. Decker, M. Sintek, A. Naeve, M. Nilsson, M. Palmér et T. Risch. 2002. *EDUTELLA: a P2P networking infrastructure based on RDF: Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web*. ACM, 604-615 p.
- Paquette, G (2002). *L'ingénierie du télé-apprentissage, pour construire l'apprentissage en réseaux*. Presses de l'Université du Québec, mai 2002, 490 pages, ISBN 2-7605-1162-6, D-1162
- Paquette, G. 2004. *Instructional Engineering for Learning Objects Repository Networks: Invited communication in Proceedings of CALIE04, International Conference on Computer Aided Learning in Engineering education, 16-18 février 2004*.
- Pernin, J. 2003a. «Objets pédagogiques: unités d'apprentissage, activités ou ressources». *Revue "Sciences et Techniques Educatives", Hors série*, p. 179-210.
- , 2003b. «Quels modèles et quels outils pour la scénarisation d'activités dans les nouveaux dispositifs d'apprentissage». *Séminaire «TIC, nouveaux métiers et nouveaux dispositifs d'apprentissage». INRP. Lyon*, vol. 19.
- Pernin, J., et A. Lejeune. 2004a. *Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies: vers une ingénierie centrée sur les scénarios: Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et de l'Industrie*. 407-414 p.
- , 2004b. «Modèles pour la réutilisation de scénarios d'apprentissage». *TICE Méditerranée, Nice*.
- Psyché, V., J. Bourdeau, R. Nkambou et R. Mizoguchi. 2005. «Making learning design standards work with an ontology of educational theories». *Supporting Learning through Intelligent and Socially Informed Technology-Proc. of the 12th Artificial Intelligence in Education (AIED2005), July 18-22 2005, Amsterdam, The Netherlands.*, p. 539-546.

- Roques, P., et F. Vallée. 2011. *UML 2 en action: de l'analyse des besoins à la conception*: Eyrolles, 375 p.
- Schluep, S., M. Bettoni et S. Guttormsen Schär. 2006. «Modularization and structured markup for learning content in an academic environment». *International Journal on E-Learning*, vol. 5, no 1, p. 35-44.
- Sunil Prakash, L., N. S. Kutti et A. Sajeev. 2010. *Review of challenges in content extraction in web based personalized learning content management systems: Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. ACM, 829-832 p.
- Süß, C., R. Kammerl et B. Freitag. 2000. *A teachware management framework for multiple teaching strategies: World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*. 1101-1106 p.
- Totkov, G., C. Krusteva et N. Baltadzhiev. 2004. *About the standardization and the interoperability of e-learning resources: Proceedings of the 5th international conference on Computer systems and technologies*. ACM, 1-6 p.
- Ullrich, C. 2004. *Description of an instructional ontology and its application in web services for education: Proceedings of Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-learning, SW-EL'04*. 17-23 p.
- , 2005. «The learning-resource-type is dead, long live the learning-resource-type». *Learning Objects and Learning Designs*, vol. 1, no 1, p. 7-15.
- Vaudry, C., S. Ranwez, A. Poulon, M. Crampes et L. E. des Mines d'Alès. 2002. *Initiative Mixte dans les DVP: de la Pertinence à l'Adaptation: Actes de la conférence scientifique " Documents virtuels personnalisables" DVP'2002, Brest*. 141-154 p.

- Verbert, K. 2008. «An architecture and framework for flexible reuse of learning object components». *Faculteit Ingenieurswetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium*.
- Verbert, K., J. Jovanovic, E. Duval, D. Gasevic et M. Meire. 2006. «Ontology-based learning content repurposing: the ALOCoM framework». *International Journal on E-Learning*, vol. 5, no 1, p. 67-74.
- W3C (2010). Web Ontology Language (OWL) En ligne. <<http://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>>. Consulté le 21-10-2011.
- Wagner, E. D. 2000. «Steps to creating a content strategy for your organization». *The e-Learning Developer's Journal*, vol. 29, p. 103-117.
- Wikipédia. 2013a. «Wikipédia. Learning management system». Wikipédia. En ligne. < http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Learning_management_system>. Consulté le 07-07-2013.
- , 2013b. «Wikipédia. Web sémantique». Wikipédia. En ligne. < http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Web_s%C3%A9mantique>. Consulté le 08-07-2013.
- Wiley, D. A. 2001. «Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy». *Utah State University*.
- Zouaq, A. 2007. «Une approche d'ingénierie ontologique pour l'acquisition et l'exploitation des connaissances à partir de documents textuels: vers des objets de connaissances et d'apprentissage». PhD thesis, Université de Montréal / Université du Québec à Montréal.
- Zouaq, A., et R. Nkambou. 2008. «Building domain ontologies from text for educational purposes». *Learning Technologies, IEEE Transactions on*, vol. 1, no 1, p. 49-62.

- , 2009a. «Enhancing learning objects with an ontology-based memory». *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 21, no 6, p. 881-893.
- , 2009b. «Evaluating the generation of domain ontologies in the knowledge puzzle project». *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 21, no 11, p. 1559-1572.
- Zouaq, A., R. Nkambou et C. Frasson. 2007a. «An integrated approach for automatic aggregation of learning knowledge objects». *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, vol. 3, p. 135-162.
- , 2007b. *Une architecture d'acquisition et d'exploitation des connaissances pour les EIAH: Actes de la conférence EIAH 2007*.
- , 2007c. *Using a competence model to aggregate learning knowledge objects: Advanced Learning Technologies, 2007. ICALT 2007. Seventh IEEE International Conference on*. IEEE, 836-840 p.